



Arancio, Julieta Cecilia

Fabricaciones desde el diálogo : hardware científico abierto y democratización de la producción de conocimiento en la 'periferia'



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Argentina.
Atribución - 2.5
<https://creativecommons.org/licenses/by/2.5/ar/>

Documento descargado de RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes de la Universidad Nacional de Quilmes

Cita recomendada:

Arancio, J. C. (2021). *Fabricaciones desde el diálogo: hardware científico abierto y democratización de la producción de conocimiento en la periferia*. (Tesis de posgrado). Bernal, Quilmes. Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/3109>

Puede encontrar éste y otros documentos en: <https://ridaa.unq.edu.ar>

Fabricaciones desde el diálogo: Hardware científico abierto y democratización de la producción de conocimiento en la ‘periferia’

TESIS DOCTORAL

Julieta Cecilia Arancio

julieta.arancio@gmail.com

Resumen

¿Qué sucedería si el modelo de producción de pares se aplicara a la fabricación de las herramientas de la ciencia? Siguiendo las promesas de la producción distribuida en otros campos, ¿se puede pensar en una democratización de la producción del conocimiento? ¿Qué forma tomaría ese proceso?

A mediados de los años 2000, una serie de innovaciones tanto artefactuales como de prácticas tecnológicas llegaron para cambiarlo todo: La impresión 3D permitió imaginar un futuro donde los diseños de los objetos se pueden materializar de forma distribuida; Arduino habilitó a que más gente pueda aprender el idioma de las máquinas y decidirse a hablarles; las licencias abiertas y la masificación de internet llevaron a la multiplicación de comunidades de práctica colaborativa alrededor del mundo.

En el contexto de la explosión de creatividad que siguió y podemos observar hasta hoy, existe un conjunto de personas que emplean estas metodologías para fabricar herramientas para la producción de conocimiento, o *hardware científico abierto* (HCA). No son solo científicos: también se trata de activistas comunitarios, hobbyistas, educadores, emprendedores, artistas, trans hacktivistas y estudiantes. Los diseños de HCA se pueden encontrar en casi cualquier disciplina científica alrededor del mundo y en una amplia gama de complejidad tecnológica: microscopios aptos para la investigación clínica, monitores ambientales o instrumentos de sincronización en el Gran Acelerador de Hadrones del CERN, son solo algunos de los ejemplos.

Uno de los colectivos que más y más rápido ha crecido en los últimos cinco años alrededor de este tema es el Movimiento Global por el Hardware Científico Abierto (GOSH, por sus siglas en inglés). Se trata de un grupo heterogéneo donde conviven visiones y formas de habitar el mundo radicalmente diferentes, pero que coinciden en algo: quieren abrir la caja

negra de las herramientas científicas para que «*cualquier persona las pueda utilizar, obtener, estudiar, modificar, compartir o comercializar*» (Community 2016) y así poder, entre otros, «*democratizar la ciencia*».

Gran parte de la literatura sobre hardware científico abierto se aboca al estudio de sus beneficios en términos de reducción de costos, tiempos de espera, mejora de la performance o aceleración de la innovación. Son escasos los análisis del argumento de la democratización, que en general se lee como acceso a la infraestructura de producción de conocimiento en contextos de recursos escasos: países periféricos o comunidades por fuera de la academia.

En este contexto, este trabajo busca responder a la pregunta: «*¿De qué manera las prácticas de hardware científico abierto contribuyen a democratizar la producción de conocimiento en la periferia?*».

Utilizando un abordaje cualitativo y desde la perspectiva de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología, en primer lugar este trabajo reconstruye la historia y analiza la dinámica del movimiento GOSH que lo lleva a consolidarse como una alternativa viable de cambio socio-técnico. En segundo lugar, a través de un estudio de casos de proyectos de HCA en Latinoamérica y África dentro y fuera de la academia, se estudia la participación de más y más diversos actores en los procesos de producción de conocimiento, y cómo estos construyen capacidades a lo largo del mismo.

La tesis argumenta que las prácticas de HCA en la periferia habilitan diálogos entre usuarios, desarrolladores y fabricantes de las herramientas que se materializan en tecnologías y conocimiento altamente contextualizados, o útiles localmente.

Los estudios de caso muestran que las iniciativas están lideradas por roles académico-activistas capaces de «traducir» entre campos del conocimiento que aportan los participantes. El análisis también permite observar que estos diálogos se materializan en artefactos a través de metodologías de trabajo como el diseño modular, el diseño orientado a la usuaria y los ciclos iterativos de fabricación. Finalmente, se muestra que estas *fabricaciones desde el diálogo* son producto y función de los intercambios entre participantes, y por lo tanto continúan modificándose mientras el diálogo exista: sus diseños y versiones reflejan la configuración de espacios, usuarias y necesidades de cada contexto en particular.

Abstract

What would happen if the peer production model were applied to the manufacture of the tools of science? Following the promises of distributed production in other fields, is it possible to think of a process of democratisation of knowledge production? How would that process look like?

In the mid-2000s, a series of innovations, both in terms of technology and practices, came along to change everything: 3D printing made it possible to imagine a future where objects can be designed and manufactured in a distributed way; Arduino enabled more people to learn the language of machines and empowered them to materialize their ideas in prototypes; open licenses and the massification of the internet led to the multiplication of collaborative communities of practice around the world.

In the context of the explosion of creativity that followed and can be observed to this day, there is a set of people who use these methodologies to make tools for knowledge production, or *open science hardware* (OSH). They are not just scientists: they are also community activists, hobbyists, educators, entrepreneurs, artists, trans-hacktivists and students. OSH designs can be found in almost every scientific discipline around the world and in a wide range of technological complexity: microscopes suitable for clinical research, environmental monitors, synchronisation instruments at CERN, are just a few examples.

The Global Open Science Hardware Movement (GOSH) is one of the groups working on this topic that has witnessed an accelerated growth in the last five years. GOSH is a heterogeneous group where radically different visions and ways of inhabiting the world coexist, but although their differences, participants agree on one thing: they want to open the black box of scientific tools so that «*anyone can use, obtain, study, modify, share or commercialise them*» (Community 2016) and thus be able to, among other things, «*democratise science*».

Much of the literature on open science hardware focuses on the study of its benefits in terms of reduction of costs and waiting times, performance improvement or acceleration of innovation. The democratisation argument is usually more diffuse, generally associated with the access to knowledge production infrastructure in contexts of scarce resources: peripheral countries or communities outside academia.

In this context, this work seeks to answer the question: «*How do open science hardware practices contribute to the democratisation of knowledge production in the periphery?*»

Using a qualitative approach, from the perspective of social studies of science and technology, this thesis first reconstructs the young history of the GOSH movement and analyses the dynamics that led to its consolidation as a strategic niche for sociotechnical change. Second, through a multiple-case study of OSH projects in Latin America and Africa inside and outside academia, it examines the participation of more and more diverse actors in knowledge production processes, and how they build capacities along the way.

The thesis argues that OSH practices in the periphery enable dialogues between users, developers and hardware manufacturers that transform into highly contextualised, or locally useful, technologies and knowledge. The case studies show that initiatives are led by academic-activist roles capable of «*translating*» between fields of knowledge. The analysis also shows that these dialogues are materialised into artefacts through working

methodologies such as modular design, user-driven design and iterative manufacturing cycles. Finally, it shows that these *technologies from dialogues* are a product and function of the exchanges between participants, and therefore continue to be modified as long as the dialogue exists: their multiple versions reflect the configuration of spaces, users and needs of each particular context.

Fabricaciones desde el diálogo:
Hardware científico abierto y democratización
de la producción de conocimiento en la ‘periferia’

Julieta Cecilia Arancio

Tesis para optar por el título de Doctora en Ciencia y Tecnología

Universidad Nacional de Quilmes

Directora: Dra. Valeria Arza

Co-director: Dr. Mariano Fressoli

Buenos Aires

Diciembre 2020

A mi abuela, Susana Moyano.

A mis viejos.

Agradecimientos

Se suele decir que el trabajo del tesista es en gran parte solitario. Más allá de las horas de escritura frente al monitor, es cierto que muchas de las prácticas y la misma infraestructura del sistema científico-tecnológico nos empujan al individualismo.

Como mucha otra gente, por suerte cada vez más, pienso que esa construcción individual es un poco de ficción. Este trabajo de tesis es, de principio a fin, producto de mis variadas interacciones con un abanico amplio de personas, comunidades e instituciones, desde las más lejanas coordinadas tanto geográficas como del *sentipensar*.

Intentaré resumir mi gratitud a todas ellas en los párrafos que siguen:

Al Centro de Investigaciones para la Transformación (CENIT-UNSAM) y al CONICET por su apoyo institucional y material en este proceso. A mi directora, Dra. Valeria Arza, por su guía a lo largo del camino, las horas de paciente trabajo y conversación. A mi codirector, Dr. Mariano Fressoli, por las charlas inspiradoras y la certeza de que se pueden cambiar las cosas, porque tienen que cambiar. Gracias por la confianza.

A las entrevistadas que con entusiasmo brindaron su tiempo y experiencias para que este trabajo exista. En especial a Paz Bernaldo, Gustavo Pereyra Irujo, Dr. Thomas Mboa, Pierre Padilla, Dr. Richard Bowman y Dr. Julian Stirling. Gracias por la convicción de que existen otras formas de producir conocimiento y tecnología, y de que vale la pena construirlas.

Al Dr. Jérémy Bonvoisin, por su generosidad y sus estimulantes conversaciones sobre los desafíos de la apertura, tanto en TU Berlin como en la Universidad de Bath. Especialmente a Javier Serrano y Eric Van der Bij, de la iniciativa de hardware abierto del CERN, por el lujo de sentarse a conversar conmigo sobre su experiencia pionera en hardware abierto y su visión de futuro. A la Dra. Sasha Constanza-Chock del MIT, que en un encuentro fortuito en Chile sin saberlo inspiró gran parte de este trabajo, y al Dr. Francois Grey, de Geneva-Tsinghua Initiative, por la confianza

y la apertura radical a discutir nuevas ideas. A la Dra. Louise Bezuidenhout, del Institute for Science, Innovation and Society de la Universidad de Oxford, por su generosidad y estimulantes conversaciones sobre hardware abierto en el sur global. A la Dra. Gabriela Bortz, del Instituto de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología de la Universidad Nacional de Quilmes (IESCT-UNQ) que con sus propuestas de formación y discusiones estimulantes me permitieron clarificar el rumbo y formular mejor mis preguntas.

A los GOSHers alrededor del mundo, por las horas de inspiración, trabajo y diversión compartidas. A Greg Austic, Jenny Molloy, Ryan Fobel, Urs Gaudenz, Marc Dusseiller, Max Liboiron, Shannon Dosemagen y su generosidad. A Andre Chagas y Alex Kutschera, con quienes decidimos emprender juntos un proyecto educativo que creemos necesario. Especialmente a las compañeras de reGOSH: Marina de Freitas, Fernán Federici, Nano Castro, Laura Olalde, Pablo Cremades, Rafael Pezzi, son solo algunas.

A mis colegas de CENIT, Sol Sebastián, Guillermina Actis, Almendra Cremaschi, Martín del Castillo, Emanuel López, que me brindaron apoyo más que necesario tanto presencial como virtual. A Cecilia Herbert, con quién surgió una camaradería tan espontánea como inesperada que me permitió atravesar los meses de escritura. Al Dr. Diego Torres y a Emilio Velis, colegas-amigos que encontré en el camino y se volvieron indispensables por el apoyo emocional y la mirada siempre puesta en lo importante.

A las que trabajan para cambiar el mundo, con poquísimos recursos y en contextos donde lo urgente siempre tapa lo importante. A la militancia por el software y el conocimiento libres, en especial a Panda, Mini, Saico, Sol, Marcela, Kisu, Faso, RikyLinux, y tantas otras. A las redes de radios comunitarias, y en particular a FM La Tribu que me brindó la oportunidad bellísima de hacer radio y divulgación científica a la vez. A las compañeras del espacio de Ecología Política Chico Mendes y la iniciativa Pueblo a Pueblo. A todas, su trabajo, perseverancia, convicciones y formación política inspiraron fuertemente este trabajo. Y al feminismo, por enseñarme que cambiar nuestro mundo es posible si nos movemos juntas, y desde el deseo.

A Alexandra Elbakyan, heroína de nuestros tiempos.

A mi familia: mis tías y tíos, primas, sobrinos, que siempre estuvieron dispuestas a intentar entender con amor de qué trabaja una doctoranda (primera de muchas). A Anita y Johannes, por su generosidad infinita. Y a mi familia por elección: Giuliana, Mariana, Octavio, Mariano, Tumas, Sanma. Presencial o virtual, siempre están ahí.

A Achintya, que apareció inesperadamente para quedarse y construir días de alegría y compañerismo. Y a mi familia en India, que me recibió con amor y me volvió parte de su mundo del otro lado de mi mundo.

A mi hermana Milena, por estar siempre de mi lado.

A mis padres Gabriela y Horacio, por creer en mí incondicionalmente, por su generosidad y por inspirar desde tan temprano la curiosidad, el esfuerzo y la convicción de que necesitamos un mundo más justo. Por siempre estar cuando los necesito, a pesar de mis momentos difíciles.

A mi abuela Susana, por sus historias de la selva misionera y por esa mezcla de tozudez y ternura que extraño tanto.

Y finalmente a Layla y Otto, por las madrugadas de compañía y amor incondicional, y porque el futuro es antiespecista.

*Design, in this sense, does not transform the world;
it is rather part of the world's transforming itself.*

Gatt & Ingold, 2013:146.

*El único héroe válido es el héroe «en grupo»,
nunca el héroe individual, el héroe solo.*

Héctor Germán Oesterheld.

Contenidos

Resumen

Summary

Agradecimientos

Contenidos

Lista de cuadros

Lista de figuras

Listado de siglas	1
1 Introducción	3
1.1 Herramientas abiertas ¿para la ciencia?	4
1.2 Problema de investigación	6
1.3 Marco teórico del trabajo	8
1.4 Diseño de la investigación	10
1.5 Estructura de la tesis	11
2 Estado de la cuestión	13
2.1 Introducción al capítulo	13
2.2 Artefactos, prácticas, comunidades, disciplina	14
2.3 El hardware abierto como artefacto	15
2.4 El hardware abierto como práctica	21
2.5 La comunidad de Hardware Científico Abierto	28
2.6 Estudios sociales sobre hardware abierto	31
2.7 Resumen del capítulo	43
3 Marco teórico	45
3.1 Introducción al capítulo	45
3.2 Del cambio: transiciones socio-técnicas	47
3.3 De la construcción de tecnologías	55
3.4 De la capacidad de producir conocimiento científico útil	61
3.5 Resumen del capítulo	68
4 Diseño de la investigación	71
4.1 Introducción al capítulo	71
4.2 Postura epistemológica	71

4.3	Estrategia de investigación	73
4.4	Resumen del capítulo	81
5	El movimiento Global por el Hardware Científico Abierto (GOSH)	83
5.1	Introducción al capítulo	83
5.2	Rastreando hilos	83
5.3	Primer contacto	87
5.4	Mirando al sur	89
5.5	Una hoja de ruta hacia 2025	91
5.6	Hacia el otro lado del mundo	92
5.7	Encuentros distribuidos	95
5.8	Resumen del capítulo	98
6	Construcción de un nicho estratégico de innovación	101
6.1	Introducción al capítulo	101
6.2	Radicalizando ventanas de oportunidad	102
6.3	Marcos conceptuales en GOSH	104
6.4	Espacios	113
6.5	Estrategias	117
6.6	GOSH como nicho estratégico	122
6.7	Resumen del capítulo	124
7	Análisis de proyectos GOSH	125
7.1	Introducción al capítulo	125
7.2	Proyecto Gorgas tracker	126
7.3	Proyecto Open Flexure	149
7.4	Proyecto Vuela	170
7.5	Proyecto KossamTor	194
7.6	Resumen del capítulo	209
8	Análisis comparativo	211
8.1	Introducción al capítulo	211
8.2	Bloque académico	211
8.3	Bloque comunitario	217
8.4	Análisis comparativo	222
8.5	Resumen del capítulo	237
9	Discusión	239
9.1	Pregunta 1: GOSH como nicho estratégico	239
9.2	Pregunta 2: mecanismos para incorporar nuevos y más diversos actores	250
9.3	Pregunta 3: construcción de capacidades y utilidad de la producción .	258
9.4	Resumen del capítulo	270
10	Conclusiones	273

10.1	Introducción al capítulo	273
10.2	El camino hacia la pregunta de investigación	274
10.3	Respondiendo las preguntas de investigación	276
10.4	Contribuciones del estudio	285
10.5	Limitaciones del estudio	290
10.6	Implicancias del estudio	291
10.7	Conclusión del capítulo	294
	Referencias	297
	Anexo 1 - Cuestionario Movimiento global	319
	Anexo 2 - Plantilla final de análisis: Movimiento global	321
	Anexo 3 - Protocolo para estudios de caso	323
	Anexo 4 - Plantilla final de análisis: Estudio de casos	331
	Anexo 5 - Consentimiento informado	333

Índice de cuadros

2.1	Licencias más utilizadas en proyectos de hardware abierto	29
4.1	Criterios para la selección de proyectos GOSH	77
4.2	Casos seleccionados	77
4.3	Actividades de recolección de datos para el estudio de casos	79
4.4	Criterios de consistencia y tácticas empleadas	80
7.1	Cuadro síntesis del caso Gorgas tracker	148
7.2	Cuadro síntesis del caso Open Flexure	168
7.3	Cuadro síntesis del caso Vuela	193
7.4	Cuadro síntesis del caso KossamTor	208
8.1	Cuadro síntesis: Contextos	226
8.2	Cuadro síntesis: Modos de participación y diversidad	229
8.3	Cuadro síntesis: Trabajos de domesticación	233
8.4	Cuadro síntesis: Construcción de capacidades	236

Índice de figuras

2.1	Proyecto CIAA	17
2.2	Arduino en una configuración típica de prototipado rápido	19
2.3	RepRap y la foto de la primera replicación	23
2.4	Limor Fried (Lady Ada) creadora de Adafruit, en la revista MAKE	36
3.1	Esquema de marco teórico	47
7.1	Gorgas tracker: participantes utilizando el dispositivo (fuente: proyecto Gorgas Tracker)	127
7.2	Gorgas tracker: vista del interior del dispositivo (fuente: proyecto Gorgas Tracker)	133
7.3	Gorgas tracker: visualización de datos obtenidos y mapa de calor de tránsito (Carrasco-Escobar et al. 2020)	138
7.4	Open Flexure: primeros microscopios, o <i>sayansiscopes</i> fabricados en Tanzania (fuente: Twitter BuniHUB)	151
7.5	Open Flexure: «Mosquito city» en el Ifakara Health Institute (fuente: web IHI)	153
7.6	Open Flexure: coproducción en GOSH 2018, Shenzhen, China (fuente: GOSH Flickr)	158
7.7	Open Flexure: configuraciones y modos de imagen posibles (J. T. Collins et al. 2020b)	163
7.8	Vuela: Múltiples versiones de los drones para ciencia comunitaria (fuente: Instagram)	172
7.9	Vuela: parte de «la tripulación», participantes de los talleres en Melipilla (fuente: Instagram)	177
7.10	Vuela: pruebas de los drones a campo (fuente: Instagram)	181
7.11	Vuela: talleres para investigadores (fuente: Instagram)	190
7.12	KossamTor: incubadora en funcionamiento	195
7.13	KossamTor: un día de trabajo en el MboaLab	200
7.14	KossamTor: parte del equipo desarrollador, en el MboaLab	202
7.15	KossamTor: electrónica necesaria para construir la incubadora	205
9.1	La propulsión en dos etapas, una de las estrategias de movimiento más eficientes en el reino animal (<i>Aurelia aurita sp</i>)	243

Listado de siglas

BFOSH	Programa de apoyo a proyectos de hardware abierto
BOING	Bath Open Instrumentation Group
CAD	Computer-Assisted Design
CERN	Organización Europea para la Investigación Nuclear
CERN-OHL	Licencia de hardware abierto CERN
CTI	Ciencia, Tecnología e Innovación
CyT	Ciencia y Tecnología
DIY	Do-it-yourself, o en español Hágalo usted misma
ESCT	Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología
FDM	Fused deposition modeling, técnica de impresión 3D
GOSH	Movimiento Global por el Hardware Científico Abierto
HCA	Hardware científico abierto
IDP	Internally displaced people
IHI	Ifakara Health Institute
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
IPAF	Institutos para la Agricultura Familiar
MIB	Movimientos de innovación de base
OF	Open Flexure
OH	Open Hardware
OSHW	Open Source Hardware association
OVLI	Objeto Volador Libre
PROCISUR	Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y AgroIndustrial del Cono Sur
STEM	Science, technology, engineering, mathematics
UPCH	Universidad Peruana Cayetano Heredia

Capítulo 1

Introducción

En 2005, cuando el Dr. Adrian Bowyer inició el proyecto RepRap en la Universidad de Bath en Inglaterra, su objetivo parecía de ciencia ficción: quería construir «*una máquina que exista simbióticamente con los seres humanos, dándoles cosas que los humanos quieran a cambio de la oportunidad de reproducirse, como las flores con las abejas*».*

En 2020 podemos decir que el futuro llegó, hace rato: RepRap («*The **replicating rapid prototyper project***») fue la primera impresora 3D que pudo replicarse a sí misma en todos sus componentes excepto la electrónica y aquellos genéricos como tuercas, tornillos o planchas de madera; el criterio del proyecto es que aquellos componentes no replicables deben ser conseguibles en cualquier lugar del mundo. Su principio de trabajo es la metodología de fabricación aditiva denominada modelado por deposición fundida (FDM por sus siglas en inglés), inventada en 1988 y cuya patente expiró en 2009 (Fressoli y Smith 2015). Pero quizás lo más importante en esta historia es que RepRap es *open source*, o código abierto.

RepRap capturó la imaginación de miles de personas alrededor del mundo rápidamente: el modelo de código abierto y producción distribuida que propulsó a la industria del software, dando origen al mundo como hoy lo habitamos, ¿podría extenderse de los bits a los átomos? Muchos creyeron que sí desde el inicio: la comunidad de pares que se formó alrededor de RepRap, una de las más importantes y activas hasta hoy, comenzó por compartir los diseños de los objetos al igual que se comparte el código del software (de Bruijn 2010), pero rápidamente se convirtió en un movimiento que comparte además visiones, valores, plataformas de comunicación, estrategias de trabajo, entre otros (Söderberg 2013).

*https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Adrian_Bowyer_-_PopTech_2007.webm

Al poco tiempo, los espacios de fabricación digital de distinto tipo se multiplicaron alrededor del mundo: fablabs, hackerspaces, centros de innovación vecinales (Smith et al 2017). El modelo de colaboración y producción de pares se replicó a la par de las RepRap en infinidad de foros *online*, y junto a la posibilidad de compartir libremente los diseños y al acceso a plataformas de prototipado como Arduino, llevaron a una explosión de creatividad: gente fabricando sus propios *gadgets* o productos de consumo, artistas utilizando impresión 3D para sus obras, emprendedores utilizando impresión 3D en proyectos de diversa índole, como por ejemplo la fabricación de prótesis a bajo costo.

En síntesis, desde finales de la década de 2000 cada vez más personas alrededor del mundo modifican, adaptan y construyen artefactos para diferentes propósitos, y publican los archivos de diseño y las instrucciones de fabricación en el dominio público a través de internet (Anderson 2012; Kuznetsov y Paulos 2010; A Powell 2012). Hacen uso de la disponibilidad de herramientas de fabricación digital como la RepRap y otras impresoras 3D, de plataformas electrónicas accesibles como Arduino, y de componentes electrónicos en su costo históricamente más bajo. Utilizando nuevos desarrollos de software especializado para el diseño de objetos, adoptan licencias abiertas y documentan su trabajo en plataformas de colaboración en línea (Delfanti 2012; Fressoli y Smith 2015; Gibb 2014b).

Dentro de este establecido movimiento *maker* o «hágalo usted mismo» (Dougherty 2012; Nguyen 2016), y en yuxtaposición con otros colectivos, existe un conjunto de personas que utilizan estas metodologías para fabricar herramientas para la producción de conocimiento, o *hardware científico abierto* (HCA). Curiosamente, no se trata solo de científicos; también se trata de científicos comunitarios (Wylie et al. 2014); hobbyistas (Kera 2017), educadores (Heradio et al. 2018); emprendedores*; artistas (Aedo 2019); trans hacktivistas (Tsang 2017) y estudiantes que desarrollan o adaptan diseños, liberándolos para que otros los puedan utilizar o modificar.

1.1 Herramientas abiertas ¿para la ciencia?

Aunque existen prácticas de hardware abierto para ciencia hace aproximadamente una década, en los últimos cinco años el HCA cobró relevancia como nunca antes, como se puede observar a partir del sostenido crecimiento de las publicaciones en revistas académicas (Pearce 2020), el incremento en la circulación de diseños de toda índole, la aparición de artículos en prensa masiva (Economist 2017) y académica de

*Opentrons | Open-source Lab Automation, starting at \$5,000 | Opentrons

alta visibilidad (Brazil 2018; Ravindran 2020), la creación de revistas académicas especializadas (Murillo y Wenzel, 2017) y la formación de redes transnacionales, como el movimiento global por el hardware científico abierto (GOSH) (Community 2016).

Los diseños de HCA se pueden encontrar en casi cualquier disciplina científica alrededor del mundo (Baden et al. 2015; Pearce 2014) y en una amplia gama de complejidad tecnológica: microscopios educativos (Cybulski, Clements, y Prakash 2014), microscopios aptos para la investigación clínica (J. T. Collins et al. 2020a), monitores de radioactividad (Murillo 2016), instrumental para neurociencias (Chagas 2018), automatización de laboratorios (Urban 2014) y hasta instrumental para sincronización en el Gran Acelerador de Hadrones del CERN (van der Bij et al. 2012).

Las promesas del HCA son similares a las que se abren a partir de la producción distribuida. Sin embargo, las implicancias son mayores: ¿Cómo se vería un mundo donde la producción de conocimiento funcionara de forma distribuida? Quienes forman parte de la red GOSH trabajan hace casi cinco años para poder dar una respuesta.

En primer lugar, argumentan que al igual como sucede con el software de código abierto, abrir los diseños de las herramientas de la ciencia vuelve al proceso de investigación más eficiente, disminuyendo costos, demoras por parte de proveedores, aumentando la reparabilidad, produciendo herramientas mejores a través de la revisión de pares y acelerando la innovación (Heikkinen et al. 2020; Pearce 2020). En el pasado, los científicos como grupo de usuarios han sido estudiados por su significativa capacidad de innovación y transformación de las herramientas de trabajo (von Hippel, Eric 1976). Actualmente, el régimen de patentes implica que los investigadores no pueden abrir, estudiar, modificar ni reparar sus equipos: trabajan con cajas negras.

El entusiasmo en la comunidad aumenta con cada nuevo diseño que se publica: numerosos estudios prueban la mayor eficiencia de los diseños abiertos, con reportes de hasta un 90% de reducción de costos en algunos casos (Pearce 2020, 2015), y ventajas asociadas al control y personalización de los diseños (Chagas 2018). En conversaciones informales, algunos especialistas aseguran que en 20 años el hardware abierto será la norma, al igual que el software de código abierto lo es hoy; algunos estudios que analizan tendencias bibliométricas parecerían estar de acuerdo (Pearce 2018).

Sin embargo, la eficiencia es sólo una de las promesas de la producción distribuida ¿Cómo se vería un mundo donde muchas más personas pueden producir

conocimiento de su interés? Desde GOSH se plantea que con la llegada del HCA llega también la «democratización del conocimiento» (Baden et al. 2015; Wylie et al. 2014). Este argumento se basa principalmente en la posibilidad de acceder a la infraestructura, que incentivaría a que actores más diversos, que hoy no acceden a las herramientas, puedan plantear sus propias preguntas de investigación. En particular este razonamiento aparece relacionado a contextos de trabajo en la periferia, o contextos comunitarios.

El manifiesto del movimiento GOSH (Community 2016) plantea que la apertura llevaría a la disminución de barreras entre usuarias* y fabricantes de tecnología; y que esto acarrearía, entre otros, el empoderamiento de los participantes, la capacidad de las comunidades de investigar sobre temas de su interés, y la capacidad de académicos en la periferia de producir más y mejor investigación.

1.2 Problema de investigación

Los estudios sociales sobre el fenómeno del hardware científico abierto son escasos. Gran parte de esta literatura se aboca al estudio de los beneficios de la apertura en términos de reducción de costos, reducción de tiempos de espera, mejora de la performance (Pearce 2012, 2015) o innovación de producto (Bonvoisin y Mies 2018). Otra parte de la literatura reporta experiencias de fabricación y uso en rubros específicos como la educación STEM o proyectos artísticos, o refleja los intereses más prácticos de la comunidad, como las cada vez más frecuentes publicaciones sobre modelos de negocio basados en HCA (Benichou y Tincq 2014; Moritz et al. 4d. C.).

El análisis del argumento de la democratización del HCA está sub explorado, no existiendo por ejemplo estudios sobre su dinámica dentro de la academia. La literatura más relevante se aboca a las experiencias de comunidades que utilizan herramientas abiertas en situaciones de conflicto socioambiental, o en respuesta comunitaria ante desastres ambientales (Murillo 2016; Wylie et al. 2014). El estudio de casos paradigmáticos también es frecuente, como se ve en Murillo (2018), quien estudia la iniciativa de hardware abierto en CERN, observando la relación entre apertura y legitimación de datos experimentales. Algunos autores provenientes de los estudios del diseño realizan análisis de los repositorios *online* de los proyectos para detectar modelos de participación y tendencias (Bonvoisin y Mies 2018), analizando también calidad de la documentación (Bonvoisin, Mies, et al. 2017a). En particular

*A lo largo de este trabajo se utiliza el término «usuaria» en femenino dada la agobiante mayoría de textos en este campo que recurren al género masculino como opción por defecto.

en la periferia, la disponibilidad de trabajos es aún menor, siendo el principal aporte el de Kera (2017) y Kera et al. (2019) a partir de su investigación-acción participativa en Indonesia, Tailandia y Nepal. En estos estudios el foco está en la forma en que el HCA habilita procesos de participación en ciencia por parte de no expertos en modo hobbista.

Durante la reunión anual del movimiento GOSH en 2017 en Chile, se pudo observar que las discusiones entre los participantes de la periferia, principalmente latinoamericanos y africanos, giraban en torno al eje de la democratización más que de la eficiencia; en particular, en cómo lograr que más gente localmente fabrique y utilice HCA para producir conocimiento de su propio interés. A partir de la experiencia personal y de la observación de las discusiones dentro del movimiento, el objetivo de esta tesis está en **explorar y comprender de qué manera las prácticas de hardware científico abierto contribuyen a democratizar la producción de conocimiento en la periferia.**

Este objetivo puede plantearse como pregunta principal de investigación: «¿De qué forma las prácticas de HCA en la periferia contribuyen a la democratización de la producción de conocimiento?», y desagregarse en tres preguntas específicas:

- P1: ¿De qué manera GOSH se constituye como un nicho estratégico de innovación?
- P2: ¿Cómo los proyectos GOSH promueven la participación de actores nuevos y más diversos en la producción de tecnología «útil»?
- P3: ¿En qué medida y cómo los participantes en los proyectos GOSH construyen capacidades?

A partir de dar respuesta a estas preguntas se espera comprender qué mecanismos ponen en juego los actores para consolidar a GOSH como nicho «democratizante» de la producción de conocimiento, y cómo esto se articula con las prácticas en la periferia. Aunque los estudios sobre software libre y ciencia abierta son cada vez más numerosos y la comunidad a nivel latinoamericano cuenta con una trayectoria sólida, el paso hacia el HCA se encuentra aún inexplorado en la región.

Dada esta situación, se propone sistematizar los aprendizajes observables en experiencias existentes y cada vez más numerosas en el sur global, con el objetivo de comprender cómo las visiones y estrategias puestas en acción por el movimiento pueden contribuir a una mayor participación y empoderamiento en el desarrollo de tecnología y conocimiento útiles.

1.3 Marco teórico del trabajo

La democratización de la tecnología es un tema amplio y abordado por múltiples corrientes dentro de la literatura, al igual que son heterogéneas las concepciones sobre la naturaleza de la tecnología misma. El paradigma constructivista en el que se enmarca esta tesis cuestiona los determinismos históricos que consideran lo social como separado de lo tecnológico, para proponer un análisis de «lo socio-técnico», o la mutua configuración de lo social y lo técnico en la tecnología. A continuación se presenta una síntesis del marco teórico desarrollado en el capítulo 3.

La primera pregunta específica lleva el análisis a la escala de observación del movimiento GOSH. Este análisis se enmarca en la combinación de la teoría de transiciones socio-técnicas para analizar el cambio a nivel sistémico, y de movimientos de innovación de base para incorporar la dimensión política de la innovación colectiva. La **teoría de transiciones** propone un modelo coevolutivo de variación y selección (Schot, Hoogma, y Elzen 1994) que combina conceptos de la economía evolucionista y las visiones constructivistas de la tecnología. Al entender la tecnología como una configuración de elementos que cumple una función social, plantea los cambios tecnológicos como «transiciones socio-técnicas»: grandes transformaciones en las formas de cumplir con determinadas funciones sociales. El cambio socio-técnico se concibe como un proceso de largo plazo, multi-dimensional, transformador de las variables fundamentales en las que se basa el sistema, resultante de la interacción y dinámica de tres niveles de análisis: nicho, régimen y entorno. Basados en el estudio de ejemplos históricos, Geels y Schot (2007) sugieren una tipología de transiciones en función del momento y la naturaleza de las interacciones entre estos tres niveles; otros autores señalan o revisan rasgos de los nichos de innovación que los vuelven estratégicos, o capaces de influir en la forma «normal» o régimen sociotécnico (Hoogma et al. 2002, @sefangGrassrootsInnovationsSustainable2007).

Estas nociones de la teoría de transiciones se complementan con el enfoque de **movimientos de innovación de base (MIB)** (D. Hess 2007; Smith et al 2017), que analiza específicamente las comunidades productoras de conocimiento y tecnología que exploran escenarios alternativos de cambio social. Se trata de colectivos que trabajan, con un componente de apertura y participación pública en áreas donde usualmente las firmas y el mercado no producen innovaciones. Esto enmarca la primera pregunta de «¿Cómo construye GOSH su nicho de innovación?» y conduce al análisis del **contexto**, los **marcos conceptuales**, los **espacios** y las **estrategias** puestas en acción por los participantes del colectivo. El componente de transiciones permite focalizar la atención en la evolución temporal o construcción

de **trayectorias alternativas**: además de las interacciones entre nicho, régimen y entorno, se observan las tensiones hacia el interior del nicho y su relación con elementos institucionales del régimen.

Para operacionalizar el concepto de «democratización de la ciencia y la tecnología» que GOSH articula en su discurso global, partimos de observar el manifiesto GOSH. Este documento fundacional plantea el objetivo del movimiento en términos de *«bajar las barreras entre las diseñadoras y usuarias de tecnología a fin de apoyar la generación y el aumento de la producción de conocimiento científico»*. La lógica expuesta, coherente en los sucesivos documentos elaborados por el movimiento, es que el uso y construcción de herramientas científicas abiertas permitiría que las usuarias ejerzan las libertades de uso, modificación, estudio y comercialización de las tecnologías. Y que a partir de ello podrían contribuir a la producción de, o producir más y mejor, conocimiento. Las preguntas de investigación 2 y 3 desagregan este objetivo en dos etapas: participación en la producción de herramientas y capacidades construidas por los participantes a través del proceso.

La segunda y tercera preguntas específicas cambian el nivel de observación desde lo colectivo hacia el proyecto, y ponen el foco en la construcción de (nuevos) sentidos a través de los artefactos y sus relaciones. El análisis se plantea como situado *desde la usuaria*. La pregunta de quiénes y cómo participan en la fabricación de artefactos en proyectos GOSH está enmarcada en la literatura de **design justice** (Costanza-Chock 2020), un enfoque dentro de la teoría del diseño basado en la larga tradición feminista de los Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología (ESCT), que refuerza la agencia artefactual observando cómo los diseños de los nuevos artefactos redistribuyen poder entre usuarias y cómo esto varía de acuerdo a su análisis interseccional. Desde el mismo lugar de análisis, el estudio de la **domesticación** (Sørensen 2005) de los artefactos ilumina los trabajos cognitivos, prácticos y simbólicos que realizan las diferentes usuarias, a fin de re-inscribir sus propios significados y valores en los nuevos artefactos.

La tercera pregunta plantea de qué forma estos nuevos artefactos y prácticas de los proyectos GOSH permiten (o no) a los actores perseguir sus propias agendas de producción de conocimiento. El enfoque de desarrollo humano se utiliza para evaluar qué funcionamientos habilitan la construcción de **capacidades** (Nussbaum 2011; Sen 1999) en proyectos GOSH que puedan conducir a la producción de conocimiento útil, en las diferentes modalidades de ciencia participativa que se presentan en los casos. Como complemento, la literatura de ciencia participativa y en particular ciencia ciudadana llama a observar si los procesos son iniciados por activistas, profesionales o amateurs, la existencia de procesos de traducción

entre conocimiento formal y no codificado, el grado de división del trabajo entre científicos y no científicos.

A modo de síntesis, el foco en la **producción socialmente útil de conocimiento** (Sarewitz y Pielke 2007, @kreimerQueConocimientoPara2006; Vessuri 2004), en particular en la periferia, responde al eje común de todas las discusiones entre activistas GOSH del «sur global» desde aquel primer encuentro en 2017: ¿Cómo utilizar estas herramientas abiertas para producir conocimiento que *nos sirva*?. La combinación con la literatura de los ESCT, en particular con corrientes feministas, responde a la necesidad de reforzar el foco en la agencia de los artefactos y su contribución a la distribución de poder, pero siempre *desde* las usuarias; se trata de un lente que permite observar los mecanismos de la participación y su traducción en artefactos. Para enmarcar la tercera pregunta, evaluar estos procesos de participación e inscripción en términos de capacidades tiene como objetivo explorar las contribuciones de las prácticas a un nivel más profundo, más allá de lo artefactual. El marco conceptual de movimientos de innovación de base conecta las experiencias a nivel de proyectos con el discurso global; su componente de teoría de transiciones permite reforzar la mayor escala de observación: el colectivo y el tiempo del cambio sociotécnico.

1.4 Diseño de la investigación

Este trabajo se plantea desde un inicio como un estudio exploratorio de las prácticas y narrativas de los proyectos que producen HCA en la periferia. A fin de comprender en profundidad los mecanismos, significados y construcciones de los participantes, se utiliza un abordaje cualitativo en dos etapas:

- el análisis del movimiento como colectivo, a través de entrevistas semiestructuradas y observación participante;
- el desarrollo de un estudio de casos múltiples para analizar los proyectos, categorizados en dos contextos: académico y comunitario.

Para el estudio del movimiento global se realizaron entrevistas a trece actores clave incluyendo fundadores, organizadores de todos los eventos globales y participantes activos. La observación participante incluye la asistencia a todos los eventos globales excepto el primero organizado en 2016, y la participación en eventos satélites de la comunidad.

Los casos seleccionados para el estudio múltiple incluyen dos proyectos

latinoamericanos y dos proyectos africanos, académicos y comunitarios:

Bloque académico

- Gorgas tracker (Perú), desarrollo de un dispositivo de geolocalización en tiempo real para el estudio de la dispersión de malaria asociada al movimiento humano en la amazonia peruana
- Open Flexure (Reino Unido-Tanzania), desarrollo de un microscopio fabricado con impresión 3D, de bajo costo y apto para la investigación clínica

Bloque comunitario

- Vuela (Chile-Argentina), desarrollo de drones de código abierto para ciencia comunitario e investigación científica en agricultura
- KossamTor (Camerún), desarrollo de una incubadora de bajo costo que permita producir *kossam* (yogur) para consumo y comercialización por parte de mujeres de una comunidad rural en situación de vulnerabilidad

La selección de casos se basó en un relevamiento previo de todos los proyectos de la red GOSH y la evaluación de su madurez y objetivos de «democratización» o «producción de conocimiento útil». Las fuentes de datos incluyen entrevistas telefónicas, observación participante en los casos comunitarios, análisis de documentación pública en repositorios, publicaciones académicas y de prensa, reportes y material audiovisual. El abordaje metodológico se describe con más detalle en el capítulo 4.

1.5 Estructura de la tesis

Esta tesis está organizada en 10 capítulos. El capítulo introductorio detalló los antecedentes, motivación, preguntas de investigación y una breve síntesis de la revisión de la literatura y el diseño metodológico. El capítulo 2 presenta el estado de la cuestión, permitiendo contextualizar el estudio del fenómeno del hardware científico abierto a partir de los trabajos disponibles en la actualidad; el capítulo 3 continúa con la descripción del marco teórico que provee de los fundamentos necesarios para poder abordar las preguntas de investigación. El diseño de la investigación es presentado en el capítulo 4, detallando las posturas ontológicas y epistemológicas asumidas por este trabajo, la estrategia de investigación y los

métodos de recolección, análisis de datos y aseguramiento de la consistencia interna empleados.

Los capítulos 5 a 8 presentan los resultados de la investigación. El capítulo 5 introduce la historia del movimiento GOSH desde 2016 hasta la actualidad; el análisis de su construcción como nicho estratégico se presenta en el capítulo 6. Los capítulos 7 y 8 están dedicados al estudio de casos múltiples; el primero se subdivide en cuatro secciones correspondientes a cada uno de los casos, mientras que el capítulo 8 presenta el análisis comparativo entre casos y entre bloques académico y comunitario.

El capítulo 9 discute los resultados obtenidos frente al estado de la cuestión y los conceptos del marco teórico, para dar respuesta a las preguntas de investigación. El capítulo 10 sintetiza el recorrido del trabajo de tesis y las respuestas a las preguntas de investigación, detalla las contribuciones conceptuales, metodológicas y empíricas; define las limitaciones y finaliza con las implicancias del estudio para futuras líneas de investigación, para la práctica y para las políticas públicas.

Capítulo 2

Estado de la cuestión

2.1 Introducción al capítulo

El objetivo de este capítulo es presentar, a partir de una revisión de la literatura, los conceptos clave de la práctica de hardware abierto y en particular del hardware científico abierto, para luego poder discutir los últimos avances en investigación en este campo.

El capítulo comienza con una breve descripción del concepto de hardware abierto en sus múltiples acepciones y una síntesis histórica de su definición, ilustrando algunos de los conceptos con casos paradigmáticos. Los diferentes significados que tiene el término se desarrollan en las siguientes secciones: artefactos de hardware abierto y sus distintos usos comerciales, educativos o de investigación; prácticas colaborativas de hardware abierto y sus metodologías distintivas de fabricación, diseño, documentación y uso de licencias; hardware abierto como comunidades y el caso particular del movimiento global por el hardware científico abierto (GOSH).

La última sección presenta el hardware abierto como un campo de estudio, y en particular los estudios sociales sobre el tema. Se presenta una caracterización del estado actual de la investigación sobre hardware abierto en términos de dinámicas de colaboración y participación, análisis de iniciativas de ciencia comunitaria e incipientes recomendaciones de políticas. El capítulo cierra con un resumen que identifica el área de vacancia en la literatura y retoma las preguntas de investigación planteadas en la introducción.

2.2 Artefactos, prácticas, comunidades, disciplina

El «hardware abierto» o «hardware de código abierto», también denominado *open hardware* u *open source hardware* (OH u OSH por sus siglas en inglés), es un término utilizado para referir a un tipo de artefactos, pero también a una práctica, un campo de estudio y a un colectivo de personas que comparten libremente los diseños de herramientas que utilizan con fines educativos, científicos, comerciales o hobbistas.

Uno de los primeros problemas que aparece cuando se quiere definir el término «hardware» en español es la falta de una traducción. ¿Se trata de materiales, herramientas, tecnologías, dispositivos abiertos? En segundo lugar aparece la asociación directa del término al ámbito de la informática. Coloquialmente en español entendemos el concepto «hardware» como referencia al soporte físico de una computadora, equivalente al concepto de «*computer hardware*» en inglés. Sin embargo, cuando se utiliza el término hardware abierto en relación a artefactos, estos incluyen herramientas mecánicas, analógicas, digitales, biomateriales, reactivos, textiles y cualquier otro elemento tangible, como lo define la Asociación de Hardware Abierto (OSHWA 2010):

El «Hardware de código abierto» es un término que denomina artefactos tangibles – máquinas, dispositivos, u otros objetos del mundo físico – cuyo diseño ha sido publicado de forma tal que cualquier persona pueda fabricar, modificar, distribuir y usar esos objetos.

Antes de que esta definición se consolidara y el hardware abierto existiera como concepto, la práctica de compartir diseños de herramientas ya existía de forma dispersa bajo distintas rúbricas y en distintos ámbitos. Dentro de la ingeniería y los estudios de la innovación, von Hippel las identifica como «*user-led innovation*» (Eric von Hippel 2005) destacando el rol activo de los usuarios en el surgimiento de innovaciones tanto en productos de consumo como industriales. Otra corriente significativa es el «*open design*» (Balka, Raasch, y Herstatt 2013; Raasch, Herstatt, y Balka 2009), que hace referencia al desarrollo de productos tangibles abiertos más allá del software, como ser el proyecto OSCar, un auto de diseño abierto; o RepRap, la impresora 3D autoreplicable. El concepto de *Open Design* fue uno de los primeros en definirse formalmente en 1999 alrededor del intercambio de diseños de productos tangibles a través de internet, siendo particularmente relevante el diseño abierto de circuitos (Koch y Tumer 2009). Fuera del ámbito corporativo, otros autores rastrean prácticas informales de hardware abierto en espacios comunitarios como hacklabs y

hackerspaces a inicios de la década del 2000, sobre prácticas existentes de desarrollo de software libre o abierto (Maxigas 2014).

Esta intensa actividad inicial alrededor de la práctica del hardware abierto, durante la cual surgieron también las licencias más utilizadas, atravesó un período de «dormición» hasta mediados de la década del 2000 cuando nuevos proyectos como RepRap, Arduino u OpenCores reviven la escena. La clausura del proceso se inicia con la creación de la Asociación de Hardware Abierto (OSHOWA), la publicación en 2010 de la definición citada anteriormente y con ella el programa oficial de certificación de hardware abierto. En la actualidad, el hardware abierto es un punto de intersección entre actores heterogéneos incluyendo compañías, laboratorios de I+D, expertos legales, proyectos comunitarios, hobbistas, organizaciones de la sociedad civil, agencias públicas e instituciones educativas.

2.3 El hardware abierto como artefacto

2.3.1 Usos comerciales e industriales

Aunque la práctica de comercializar hardware abierto es cada vez más frecuente y heterogénea, la literatura reporta escasos estudios al respecto. Algunos ejemplos incluyen la fabricación y comercialización de «kits» y componentes para usos educativos o hobbistas, siendo los casos más conocidos las compañías Sparkfun o Adafruit. Por otro lado existen modelos de negocio basados en proveer equipos y herramientas para el desarrollo de hardware abierto, así como proveedores de servicios de consultoría, y modelos basados en estandarización, como el caso de «Open Compute», donde varias compañías colaboran en el desarrollo de infraestructura de redes abierta para data centers, o «risc-V», otro consorcio global de colaboración en el desarrollo de tecnología de semiconductores abierta.

Un análisis de 100 start-ups de hardware abierto (Berchon 2013) muestra que la mayoría se encuentran en los Estados Unidos (68%) -concentradas en los núcleos de desarrollo de hardware alrededor de las universidades y hackerspaces activos- seguido por Europa (19%) y Asia (7%). El mayor crecimiento se da en el año 2007: hasta ese entonces se lanzaba sólo una compañía OH por año. El principal rubro de trabajo es la electrónica para hobbistas y educación (63%); muchas de ellas inspiradas por el éxito de modelos como Arduino o Raspberry Pi, desarrollando kits y placas compatibles. La segunda posición es para las herramientas de fabricación (15%), más específicamente impresión 3D (11%). El resto del mercado se encuentra fragmentado en nichos específicos: drones (3%), iluminación (3%), sintetizadores de

sonido (2%). En cuanto al perfil de los emprendedores, mayoritariamente poseen una formación en ingeniería (83%), diseño (17%) -incluyendo artistas digitales con conocimientos en aspectos técnicos- y docentes e investigadores (14%) provenientes de áreas técnicas, que dedican su tiempo libre a trabajar en proyectos OH. Sólo el 5% de las compañías son lideradas por mujeres -con excepciones notables como Adafruit o LittleBits-, y sólo 10% las incluyen en los equipos fundadores, aunque sí participan en gran medida en hackerspaces, proyectos y eventos.

Box 1: Computadora Industrial Abierta Argentina

El Proyecto CIAA surge en 2013 como una iniciativa conjunta entre el sector académico y la industria nacionales, con el objetivo de desarrollar un sistema electrónico abierto de uso general, documentado de forma abierta, diseñado en base a criterios adecuados para su utilización en aplicaciones industriales, que no dependiera de una línea específica de procesadores, y que pudiera ser fabricado por la mayoría de las empresas PyMEs nacionales.

El hardware, el firmware y el software de la CIAA, así como los documentos y archivos generados como parte de su desarrollo, son liberados bajo las condiciones de la Licencia BSD modificada, que permite la redistribución ilimitada del producto, con o sin modificaciones y para cualquier propósito, siempre que se mantenga la autoría del proyecto y la renuncia a garantías.

Actualmente la CIAA es fabricada y comercializada por distintas empresas argentinas. El aspecto más interesante del proyecto radica en que se trata de un diseño local que está preparado para las exigencias de confiabilidad y performance que demandan los productos y procesos industriales.

Entre algunos de los proyectos que utilizan CIAA se encuentran aplicaciones de automatización industrial, equipamiento médico, industria ferroviaria, maquinaria agrícola. También se diseñó una versión educativa de la plataforma, EDU-CIAA, más simple y de menor costo, para lograr un impacto en la enseñanza primaria, secundaria y universitaria (Guido y Versino 2016).



Figura 2.1: Proyecto CIAA

2.3.2 Usos educativos y hobbistas

Sin dudas la irrupción de Arduino es la que más fuertemente influencia el rubro educativo y hobbista, disparando una multiplicación de iniciativas pedagógicas basadas en OH a nivel global (Mellis y Buechley 2011). Su aproximación práctica y simplificada a la electrónica basada en el uso de la plataforma Wiring (Barragán 2016), combinada con el uso de software de código abierto, facilita el aprendizaje técnico a bajo costo al abrir la posibilidad de prototipar rápidamente en ciclos iterativos. Arduino es utilizado en diversos campos educativos como robótica, desarrollo de herramientas de laboratorio (Sarik 2010; Salvador et al. 2016); diseño interactivo (Buechley and Eisenberg 2008; Gibb 2010; Varesano 2013); e instrumental científico para educación STEM (D'Ausilio 2012) incluyendo monitoreo y sensores ambientales (Baker 2014; Ali et al. 2016; Kenny et al. 2019).

Heradio et al. (2018) realizan una revisión de la literatura sobre hardware abierto en el ámbito educativo, identificado como motivaciones recurrentes para utilizar hardware abierto en educación: la aproximación práctica a conceptos abstractos de ciencia e ingeniería, la reducción de costos, el fomento de la creatividad y el acercamiento a la tecnología en los estudiantes, el uso en aprendizaje a distancia

y la generación de metadatos sobre procesos de aprendizaje. Observan también que el OH es mayoritariamente utilizado en el ámbito universitario, seguido por la escolarización primaria; principalmente en los rubros de electrónica y computación. Los autores identifican un cambio en la tendencia de la literatura sobre OH y educación, inicialmente orientada a promover la creatividad y el interés de los estudiantes hasta 12 años en nuevas tecnologías, especialmente la inclusión de mujeres en STEM. Después de este período inicial más de la mitad de las publicaciones, a partir de 2010, estudian el hardware abierto como forma de mejorar la educación universitaria y reducir costos experimentales. A partir de la revisión, se observa que a nivel global la literatura de hardware abierto en educación proviene principalmente de Estados Unidos (38%) seguido por España, Brasil, Alemania y el Reino Unido.

Otro gran rubro para el OH es el desarrollo de pequeños artefactos de diversa complejidad por parte de hobbistas y participantes del movimiento «maker» o «hágalo usted mismo». Mellis y Buechley (2011) observan que el diseño modular del hardware abierto facilita el aprendizaje y el desarrollo de la creatividad, permitiendo a los hobbistas adquirir capacidades progresivamente y enfocarse en los aspectos creativos que la persona más valora, sin afectar la funcionalidad total del desarrollo. Hertz (2011) analiza el fenómeno do-it-yourself asociado a Arduino, en particular los proyectos «hedonistas» sobre productos de consumo sin un fin o utilidad claros. Algunos ejemplos incluyen (entre una multitud de proyectos) adaptaciones de teléfonos antiguos para que funcionen con Skype, mesas de café que cambian de color según el tiempo, o robots operados por el movimiento de insectos ó dispositivos «wearables». Estos últimos fueron particularmente impulsados por la versión Lilypad de Arduino, e incluyen vestimentas interactivas, accesorios, juguetes, esculturas, entre otros (Buechley y Hill 2010). El ecosistema de hardware abierto hobbista incluye plataformas como [Instructables](#), [Hackaday](#) o [Thingiverse](#) donde se comparten diseños; publicaciones que curan los mejores diseños y organizan concursos como la revista [MAKE](#), encuentros que se multiplican a escala global como la [MakerFaire](#), y material educativo o tutoriales muchas veces desarrollados por las mismas empresas como Adafruit, o por makers alrededor del mundo.

Box 2: Arduino

Arduino es una plataforma de prototipado abierta compuesta por una placa electrónica de entradas y salidas simple y un entorno de desarrollo que utiliza un lenguaje de programación fácil de usar. En su origen fue diseñado por un equipo de cinco personas en el Ivrea Interaction Design Institute en Turín, Italia, con el

objetivo de contar con una herramienta sencilla de utilizar con los estudiantes, que les permitiera fabricar objetos sin tener que contar con conocimientos avanzados de electrónica. Actualmente, además de la plataforma, Arduino es una comunidad organizada alrededor de su sitio web, donde más de 300 mil usuarios de distintas partes del mundo comparten sus diseños, recomendaciones y preguntas.

Arduino posee algunas ventajas que lo volvieron una de las «estrellas» del hardware abierto, viralizando su uso en cientos de proyectos a escala global y motorizando así la nueva ola del movimiento maker. La placa más sencilla cuesta menos de 25 dólares, es compatible con todos los sistemas operativos, utiliza un lenguaje de programación simple pero potente, y es abierta, facilitando su adopción y reutilización por parte de la comunidad.

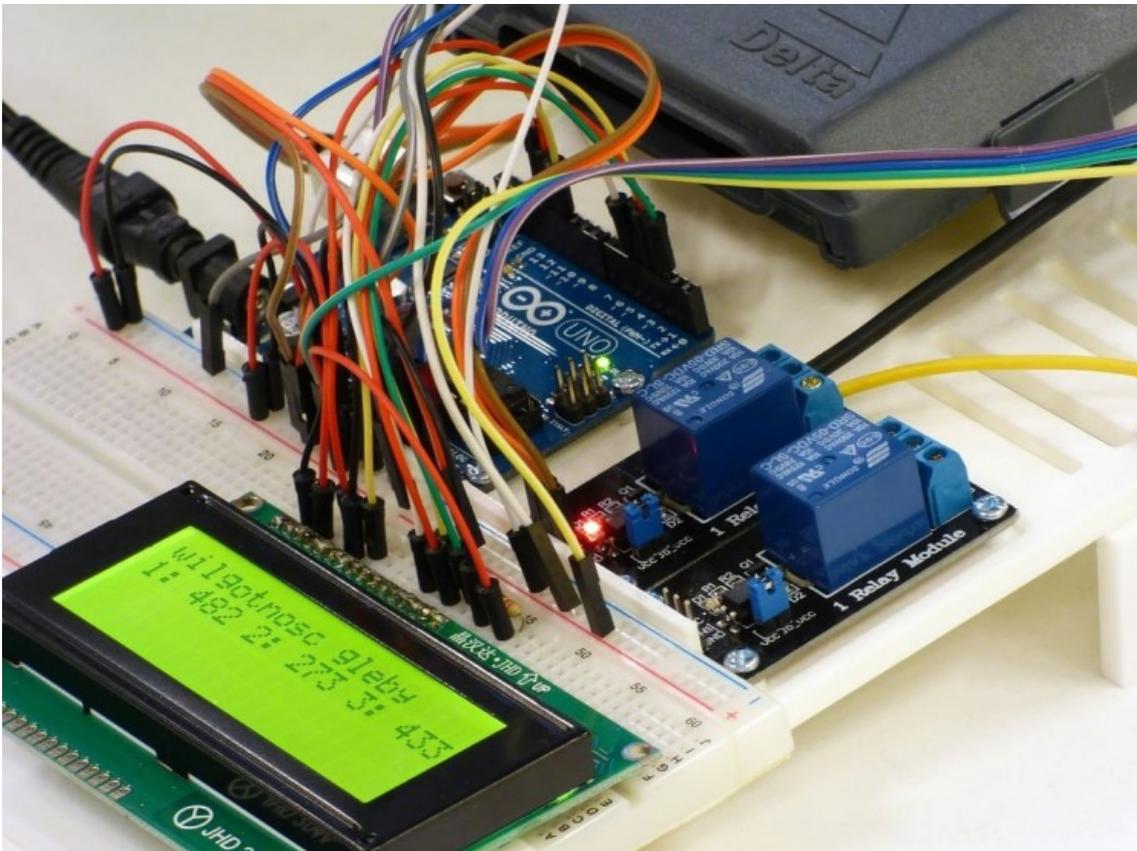


Figura 2.2: Arduino en una configuración típica de prototipado rápido

Arduino es empleado, entre otros usos, para crear instrumental de laboratorio económico y adaptado a las necesidades de los científicos (Baden et al. 2015; Pearce 2014), por docentes para enseñar programación y robótica a estudiantes (Bordignon y Iglesias 2015), por músicos y artistas para experimentar y realizar nuevas instalaciones, por ingenieros y diseñadores para prototipar nuevos artefactos (Karvinen y Karvinen 2011).

2.3.3 Usos en investigación

Uno de los sectores donde el OH ha ganado mayor terreno durante los últimos años es en el ámbito de la investigación y producción de conocimiento. El libro «*Open Source Lab*» (Pearce 2012) fue el primero en mostrar cómo las metodologías de hardware abierto pueden beneficiar a la comunidad científica, principalmente en términos de reducción de costos, personalización y reparación de instrumental, y reducción de tiempos de desarrollo. Su publicación obtuvo cobertura por parte de una diversidad de medios académicos y masivos, constituyendo uno de los hitos de la comunidad hasta el día de hoy.

Uno de los casos paradigmáticos de hardware abierto en ciencia es el de la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN). En 2008 en CERN, el departamento de Sincronización comenzó a desarrollar hardware abierto motivados por la propuesta de trabajo colaborativo que veían que funcionaba en los departamentos de software, la posibilidad de diseñar instrumental altamente específico, reparable y como forma de ganar autonomía frente a proveedores (Javier Serrano, entrevista personal, 2018). En 2009 se crea el [repositorio de hardware abierto](#) del CERN a fin de albergar documentación de hardware para proyectos tanto internos como externos. En 2011, el equipo de hardware abierto en colaboración con la Oficina de Transferencia Tecnológica publican la Licencia CERN Open Hardware 1.1 (Ayass y Serrano 2012). El trabajo con hardware abierto le permitió a CERN desarrollar un ecosistema de proveedores en 8 países, generalmente compañías pequeñas-medianas (van der Bij et al. 2012). Su primer proyecto, «*White Rabbit*», fue adoptado y modificado por parte de diversas iniciativas alrededor del mundo, por ejemplo para la sincronización de la hora oficial en Finlandia.

Actualmente, investigadores alrededor del mundo fabrican instrumentos que reducen los costos de investigación y amplían la autonomía de los laboratorios, generalmente combinando el uso de plataformas de prototipado como Arduino con componentes electrónicos económicos e impresión 3D (Coakley y Hurt 2016; Damase et al. 2015; Dryden et al. 2017). Joshua M. Pearce (2017) hace una revisión de varios de estos desarrollos en rubros que incluyen la química, microfluídica, biotecnología, espectroscopía de masas, óptica, monitoreo ambiental, agricultura y dispositivos de uso médico.

Por fuera de los ámbitos de investigación formales, cada vez más comunidades utilizan OH para producir conocimiento. En particular, dos áreas son particularmente

fértiles para el desarrollo de proyectos de hardware abierto: los conflictos socioambientales y la biología sintética. En el primer caso, uno de los proyectos paradigmáticos es [Safecast](#), iniciativa comunitaria surgida en Japón tras el desastre de Fukushima en 2015. Un grupo de colaboradores desarrolló detectores de radiación basados en Arduino que rápidamente se distribuyeron entre vecinos permitiendo elaborar mapas de radiación más precisos que los oficiales (Murillo 2016). En el campo de la biotecnología «*do it yourself*», el desarrollo de hardware abierto para investigación resulta crucial ya que las comunidades no cuentan con las facilidades que las instituciones brindan para acceder a equipos; uno de los desarrollos más reconocidos es [OpenPCR](#) (Delfanti 2012).

El surgimiento de redes como la Comunidad Global por el Hardware Científico Abierto (GOSH) en 2016 permitió conectar iniciativas tanto institucionales como comunitarias trabajando con hardware abierto, dando visibilidad al término «hardware científico abierto» a escala global, y asociándolo a problemáticas de inequidad y desarrollo (Dosemagen, Liboiron, y Molloy 2017a, 2017b). Dentro de la red, además de los proyectos académicos se destacan iniciativas autodenominadas de «ciencia comunitaria», que trabajan con lógicas de investigación-acción participativa. En este último caso, las iniciativas más estudiadas son aquellas en contextos de conflicto socioambiental (Wylie et al. 2014), y proyectos ligados al biohacking y transhacktivismo (Tsang 2017).

2.4 El hardware abierto como práctica

2.4.1 Uso de herramientas de fabricación digital

El desarrollo y difusión de herramientas de fabricación digital tiene un impacto directo en el surgimiento de proyectos de hardware abierto (Söderberg 2013). Muchas de las herramientas tecnológicas de fabricación digital no son particularmente nuevas; lo novedoso son las reducciones de los costos y la posibilidad de acceder a ellas a pequeña escala, aumentando la versatilidad del proceso de fabricación (Fressoli y Smith 2015). Los usuarios-desarrolladoras pueden comprar las herramientas directamente o acudir a espacios comunitarios donde abonan una tarifa por tiempo de uso (o usan sin costo) las que se encuentren disponibles (de Brujin 2010; Mellis 2014). Los espacios comunitarios permiten acceder a herramientas más complejas y costosas que las accesibles a la usuaria individual, y ofrecen oportunidades para el aprendizaje y el intercambio entre pares. En los últimos años, la posibilidad de contratar una variedad de servicios de fabricación digital a distancia se popularizó en la comunidad. Las herramientas

más populares entre los aficionados al OH son las cortadoras láser, las impresoras 3D y los tornos CNC.

Uno de los disparadores del crecimiento de la impresión 3D fue la expiración de las patentes de los equipos creados en la década de 1980. A modo de ejemplo, en 2009 expiró la patente del proceso de modelado por deposición fundida (conocido como FMD por su sigla en inglés) que utiliza filamentos plásticos, ocasionando una explosión de experimentación en el rubro (Fressoli y Smith 2015). En proyectos de hardware abierto se suele utilizar la impresión 3D para confeccionar mecanismos para movimiento, encastrés, cajas o contenedores de plaquetas. Las especificaciones de diseño, geometría, materiales y resistencias se distribuyen fácilmente en archivos digitales editables con FOSS especializado (Blender, OpenSCAD), lo que facilita la colaboración dentro de las comunidades.

Las cortadoras láser y los tornos CNC (control numérico) son otro ejemplo de herramientas ampliamente difundidas en fablabs o makerspaces. Las primeras permiten calar, cortar o grabar materiales como maderas balsas, cartón, acrílico y otros; existen variedades que cortan vinílico y otras basadas en chorro de agua para cortar materiales más densos. En el caso de los tornos CNC, su utilización permite la remoción controlada de materiales con alta precisión a partir de bloques sólidos. Estas herramientas trabajan con una variedad mayor de materiales respecto de la impresión 3D, pero son más limitadas en términos de las geometrías que pueden producir, y demandan procesos más largos de fabricación, ensamblado y acabado.

Mellis (2014) considera que en la actualidad la producción de circuitos impresos se puede pensar como un proceso más de fabricación digital. La disponibilidad de software necesario para diseñar circuitos electrónicos permite compartir los diseños, que se pueden fabricar como placas impresas utilizando máquinas CNC en espacios comunitarios o mediante servicios que ofrecen la fabricación a usuarias individuales. Uno de los principales obstáculos identificados a la hora de replicar diseños electrónicos es efectivamente conseguir los componentes necesarios (Community 2018). La alta especificidad de algunos diseños hace que sea muy complejo encontrarlos, sumado a que en algunos países existen limitaciones de importación.

Box 3: RepRap

La construcción de una impresora RepRap constituye muchas veces uno de los primeros hitos de aprendizaje entre los entusiastas de la fabricación digital. De forma similar a Linux, RepRap comenzó en 2005 como un proyecto universitario

del Dr. Adrian Bowyer en la Universidad de Bath, con el objetivo de construir una impresora 3D auto-replicable. Es decir, una impresora que pudiera imprimir las partes para construir una nueva impresora.

A partir de la colaboración online en blogs y wiki se creó una de las primeras y más activas comunidades de usuarios en OH, donde a partir de la colaboración se fueron construyendo copias del primer prototipo, realizando modificaciones que se documentaban y ponían a disposición online.

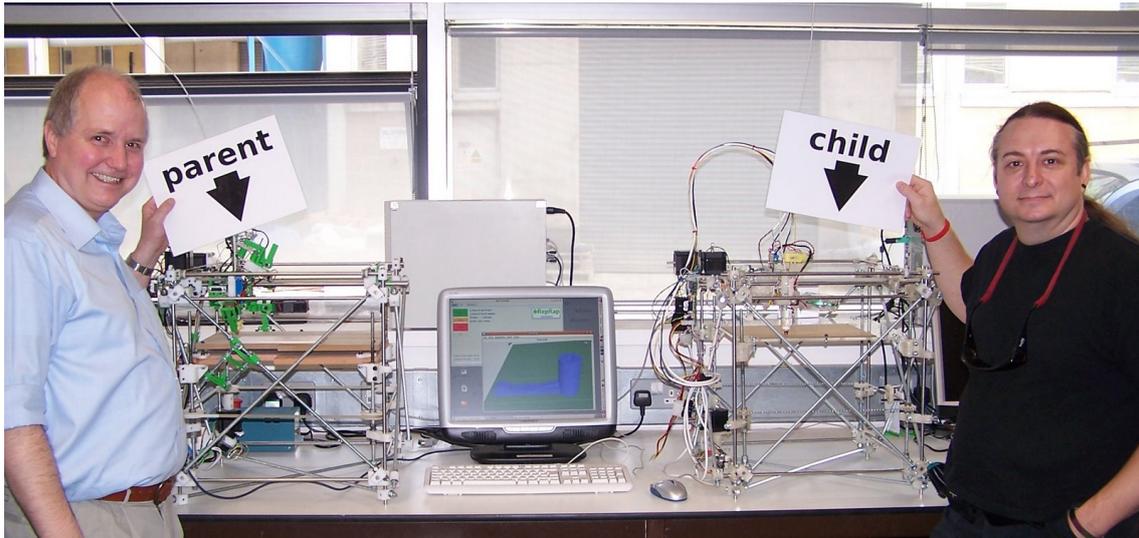


Figura 2.3: RepRap y la foto de la primera replicación

La caída de las patentes de métodos de fabricación durante la década del 2000 permitió una explosión de experimentación con nuevas impresoras, entre ellas RepRap, que utilizando el modelo open source permiten que cualquier usuario realice modificaciones y mejoras en las máquinas. Desde ese momento, las impresoras 3D se convirtieron en un objeto de escritorio, pudiéndose obtener por menos de mil dólares. Destaca actualmente el caso de la impresora [Prusa](#), última estrella en el rubro, con ingresos de más de 33 millones de euros en 2017 y una valoración global estimada de 236 millones de euros en 2016 (Forbes 2018).

2.4.2 De la idea al prototipo, del prototipo al producto

Los pasos necesarios para construir OH se fueron haciendo más accesibles durante los últimos años a partir de la disponibilidad de herramientas de fabricación digital y software que permite emular etapas de diseño y testeo. Sin embargo aún se precisa

contar con ciertos conocimientos y herramientas específicos en términos de diseño, electrónica o programación dependiendo del proyecto en cuestión.

(Mellis y Buechley 2011) identifica cinco formas de interacción de las personas con el hardware abierto, a partir del estudio del proceso de adaptación de un diseño de radio FM:

- *Hacer*: replicar el objeto a partir del diseño digital, lo que permite a los usuarios entender cómo está hecho, ensamblado y cómo funciona.
- *Personalizar*: modificaciones simples que no afectan la funcionalidad del diseño pero crean una conexión personal entre el objeto y su desarrollador
- *Diseñar*: Utilizando el diseño original como patrón, diseñar una nueva forma manteniendo aspectos requeridos para el ensamblado o funcionamiento
- *Desarrollar*: explorar posibilidades técnicas y aprendizajes a través de situarlos en un contexto (el del objeto) que motiva e inspira nuevas ideas
- *Experimentar*: probar usos, lógicas, materiales o percepciones diferentes alrededor de un objeto

En todas las acepciones mencionadas salvo la primera, la usuaria interviene el objeto para crear algo diferente. En la literatura y en la práctica este proceso se conoce como «derivado», «remix» o «*fork*», y es identificado como clave en el proceso de acelerar la innovación. En software son numerosos los trabajos que estudian la dinámica de la creación de derivados en una comunidad para inferir modelos de interacción; en hardware estos estudios son incipientes pero cada vez más numerosos (Bonvoisin, Buchert, et al. 2018a).

Un proyecto de hardware abierto empieza con una idea prototipada rápidamente como prueba de concepto. La mayoría de los proyectos comprenden procesos electrónicos ya sea analógicos o digitales, aunque existen iniciativas con componentes puramente mecánicos, basados en textiles o biomateriales. En hardware científico abierto, los prototipos suelen construirse utilizando plataformas de prototipado rápido como Arduino, agregando sensores y componentes específicos, y utilizando protoboards para evitar soldar componentes. En este punto el diseño no es perfecto y cambia rápidamente en ciclos iterativos de prueba y error.

Una vez alcanzado el diseño que funciona, los caminos son dos y dependen de los objetivos de la usuaria-desarrolladora. Si el objetivo es contar con un equipo para uso propio, generalmente se perfecciona el prototipo, ya sea soldando los componentes o diseñando una placa PCB específica para ganar estabilidad, y colocando las partes en carcasas hechas con cortadoras láser o impresión 3D. Esta suele ser la situación de

quienes desarrollan hardware abierto a modo hobbista o porque necesitan cubrir una necesidad particular, como investigadores fabricando para sus propios experimentos.

Por otro lado, si el objetivo consiste en contar con un producto que pueda ser enviado a producción, sometido a pruebas de calidad y ser comercializado, otra serie de pasos son necesarios. Pasar del prototipo al producto es actualmente uno de los cuellos de botella más importantes reconocidos por la comunidad de hardware científico abierto. Requiere de expertise en diseño, ingeniería y fabricación que suele no ser el área de dominio de los científicos, en particular en diseños de alta complejidad que requieren de estándares de seguridad altos, como los dispositivos biomédicos. Por esta razón muchos de los diseños de hardware abierto se comercializan como kits para armar por parte de la usuaria, que no requieren a los creadores involucrarse en el diseño de un producto final. Aquellos que sí logran diseñar un producto final suelen ser resultado de colaboraciones entre academia e industria, como el caso de [echOpen](#) en Francia.

2.4.3 Diseño modular y orientado a usuaria

Una de las características que comparten la mayoría de los proyectos de hardware abierto es el diseño modular y orientado a la usuaria. Gibb (2014a) define la *modularidad* como la separación de las distintas funciones de un proyecto en partes intercambiables, que puedan ser modificadas y probadas por sí mismas sin afectar la funcionalidad global; señala que es uno de los aspectos más importantes del diseño de OH. Mellis y Buechley (2012) destacan cómo la modularidad permite a usuarias menos experimentadas utilizar los diseños como patrón, modificando solo las partes que les interesan sin afectar la funcionalidad total.

Aunque la barrera de acceso a la fabricación de hardware es menor en la actualidad, autores como Wozniak (2014) y Oberloier y Pearce (2017) consideran que seguir las buenas prácticas de diseño es fundamental para asegurar que la mayor cantidad posible de personas pueda efectivamente acceder y replicar los desarrollos. Yanamandram y Panchal (2014) identifica la modularidad en software como la característica fundamental que habilita la colaboración y que aún no se traslada completamente al diseño de OH, volviéndolo demasiado complejo para la mayoría de las personas debido a la diversidad de expertise necesaria para su desarrollo.

En OH, el diseño orientado a la usuaria aprovecha la modularidad para desarrollar ciclos iterativos de creación y prueba que permiten identificar los cambios a realizar en etapas tempranas de diseño. Wozniak (2014) propone

un modelo de diseño de producto para hardware al que denomina «cascada», que imita al proceso que se realiza a nivel industrial. En el mismo se detallan etapas de definición de especificaciones, diseño, prototipado y testeó; el proceso es necesariamente iterativo pero requiere de avances secuenciales. Oberloier detalla aún más este y otros requisitos en su procedimiento general para el diseño de hardware científico abierto Oberloier y Pearce (2017). La guía incluye no sólo recomendaciones para el diseño sino para la documentación y colaboración, bajo cinco preceptos principales: revisión de la literatura para detectar diseños preexistentes, utilizar software abierto mientras sea posible y materiales generalmente accesibles, validar el diseño a través de pruebas transparentes y documentar cada etapa en detalle para asegurar su replicabilidad en una plataforma abierta.

2.4.4 Documentación

Uno de las características más comúnmente identificadas en la literatura sobre OH es que compartir conocimiento sobre átomos no es tan sencillo como compartir conocimiento sobre bits: el diseño de objetos precisa de otras representaciones que las líneas de código, como ser esquemáticos 2D o 3D para ser reproducibles (Bonvoisin, Mies, et al. 2017b). En general los componentes de hardware de los proyectos están documentados en menor grado que los de software (Raasch, Herstatt, y Balka 2009), originando gradientes de apertura y discusiones sobre qué sí es y qué no es hardware abierto. Desde 2016 OSHWA ofrece un programa de auto-certificación que permite utilizar el logo de hardware abierto si se cumple con su criterio de documentación y licencias, con 1127 proyectos certificados a diciembre 2020*.

El contenido mínimo de documentación suele incluir una descripción general del proyecto, indicaciones para la usuaria, lista de materiales («BoM» por sus siglas en inglés) para quien quiera construirlo, instrucciones de ensamblado y construcción, canales de comunicación con los desarrolladores, y licencia abierta adoptada. A esto se pueden sumar distintos tipos de archivos fuente según las características del proyecto, como ser archivos CAD utilizados para cortadoras láser, diseños 3D para ser impresos, moldeados, extrudados o cualquier otro proceso, esquemáticos y layouts para PCB, librerías de componentes, dibujos técnicos adicionales en formato original que sean necesarios para la fabricación. Los proyectos más documentados poseen información en múltiples idiomas y tutoriales en video para facilitar su adopción.

Una de las prácticas clave en la documentación es el uso de control de versiones, ampliamente difundido en la industria del software, mediante la cual todas las contribuciones de usuarias a un proyecto son históricamente registradas y se

*<https://certification.oshwa.org/list.html>

encuentran disponibles para consultar y reutilizar. Una de las herramientas más populares para realizar control de versiones es *git*, el software que originalmente se desarrolló para gestionar las colaboraciones sobre el kernel Linux, y que en los últimos años se encuentra asociado a plataformas web como [GitHub](#), [GitLab](#) y otras. Yanamandram y Panchal (2014) identifica el control de versiones como una práctica fundamental utilizada en software que debe ser trasladada a los archivos de diseño de hardware para permitir la «colaboración real». Aunque algunas plataformas para proyectos de OH ya implementan control de versiones, no todas lo hacen.

Los proyectos de hardware abierto no están centralizados en un repositorio o plataforma, como sí lo hacen las comunidades de software o impresión 3D (Balka, Raasch, y Herstatt 2009). La documentación se encuentra en una variedad de plataformas para colaboración y difusión (Bonvoisin, Mies, et al. 2017a) como ser [GitHub](#), [Thingiverse](#), [Instructables](#), [Docubricks](#), [Open Science Framework](#) (científicos), [Kit Space](#) (electrónicos). Adicionalmente los diseños pueden publicarse en revistas especializadas, como el [Journal of Open Hardware](#) ó [HardwareX](#), pero también de rubros específicos, como revistas sobre diseño, ingeniería, instrumental científico o médico, educación. En una tendencia creciente en el último año, varios miembros de la comunidad de hardware abierto trabajan en protocolos que permitan facilitar la indexación de proyectos, más allá de la plataforma en la que estén documentados. Uno de esos proyectos es [Open Know-how](#), que permite a proyectos de hardware abierto en cualquier plataforma incorporar un archivo con datos estandarizados, lo que luego permite indexarlos en [una sola página web](#). Estándares similares están aún en construcción para identificar geográficamente las infraestructuras de fabricación digital disponibles para hardware abierto, bajo la rúbrica [Open Know-where](#).

2.4.5 Licencias abiertas para hardware

El objetivo de contar con licencias abiertas específicas para hardware es asegurar tanto la libre circulación de diseños como la atribución a los desarrolladores, además de poder monitorear la evolución del hardware abierto a lo largo del tiempo. Una de las distinciones fundamentales que diferencian al hardware del software es que el copyright aplica a los esquemáticos y los diseños, pero no al producto tangible, donde aplican patentes y marcas registradas. Pearce (2018) asocia el crecimiento de los repositorios online en los últimos años a que el uso de copyright no es la estrategia apropiada para esquemáticos y diseños de productos tangibles, resultando sencillo realizar una pequeña modificación de un diseño protegido evitando sanciones.

Existen antecedentes de encuestas a la comunidad de hardware abierto que incluyen preguntas sobre licencias, pero los datos están desactualizados ((OSHWA) 2013b, 2014) o las metodologías no son consistentes. Katz (2019) realiza una encuesta dirigida a fabricantes de procesadores abiertos pero que brinda información útil sobre la comunidad y el uso de licencias. Según este último estudio, alrededor de 500 proyectos utilizan la licencia CERN-OHL en GitHub, 434 utilizan Solderpad y sólo 15 utilizan TAPR OHL en la misma plataforma. Esto coincide con las licencias recomendadas por la Asociación de Hardware Abierto:

Katz (2012) sugiere que los proyectos de hardware abierto deberían incorporar alguna de las licencias más populares dependiendo de los objetivos del mismo; utilizar licencias menos populares puede causar problemas de incompatibilidad y de adopción por otros del proyecto. Las sugerencias apuntan a si el proyecto busca maximizar reutilización o libertades - sugiriendo Solderpad en el primer caso y CERN OHL en el segundo. En el primer caso el portador de la licencia puede verse en la situación de que su diseño sea incorporado a sistemas propietarios y el diseño resultante no sea puesto a disponibilidad.

Por otro lado, como se mencionaba al inicio el concepto de hardware implica mucho más que artefactos electrónicos. Uno de los casos que es útil para ilustrar esto es la licencia OpenMTA, orientada a regular la transferencia de materiales biológicos como ser plásmidos, muestras y otros cuyas cantidades no son intrínsecamente limitadas. Open MTA fue presentado en 2018 por un colectivo de investigadores, profesionales de transferencia de tecnología y expertos legales entre otros, en una nota en la revista Nature (Kahl et al. 2018). Como todos los MTAs se trata de un contrato en el cual el proveedor entrega materiales a cambio de la promesa de atribución, reporte y pago de tasas de procesamiento de material. A diferencia de los actuales, OpenMTA permite el reuso de materiales dentro de los marcos legales y la redistribución con reporte al proveedor. Las instituciones firmantes no tienen obligación de manejarse 100% con OpenMTA, ni de aplicarlo a derivados.

2.5 La comunidad de Hardware Científico Abierto

Dentro del panorama general presentado hasta ahora sobre el hardware abierto, este trabajo de tesis trata sobre el caso particular del hardware abierto utilizado para la producción de conocimiento. Para ello se toma la definición de **hardware científico abierto (HCA)** elaborada por la comunidad GOSH (Community 2018):

El Hardware Científico Abierto (HCA) refiere a cualquier tipo

Cuadro 2.1: Licencias más utilizadas en proyectos de hardware abierto

Licencia TAPR	<p>Primera licencia abierta para hardware desarrollada en 2007 por la Tucson Amateur Packet Radio Corporation, la asociación de radioaficionados estadounidense</p> <p>Bajo forma de contrato, requiere que la documentación de diseño (archivos CAD, esquemáticos, planos mecánicos) esté disponible para cualquier usuario del dispositivo, incluyendo modificaciones</p> <p>El software que acompaña el dispositivo (incluyendo firmware) no está cubierto por la licencia, que delega esta función en licencias de software que se consideren apropiadas</p>
CERN OHL 2.0	<p>Desarrollada por el CERN en 2011, para ser compatible con la definición de apertura de OSHWA</p> <p>Su primera versión solo era copyleft, la versión 2.0 (2020) incorpora tanto copyleft como flexibilidad para quienes prefieren esquemas como dual licensing</p> <p>Al igual que TAPR, CERN OHL sólo se aplica a hardware: el software que acompaña el dispositivo (incluyendo firmware) no está cubierto por la licencia</p>
Solderpad 2.0	<p>Desarrollada por Andrew Katz (2012) en base a la licencia de software Apache 2.0, como crítica a la opción solo de copyleft de la CERN-OHL</p> <p>La principal modificación radica en extender los derechos de Apache asociados a copyright, patentes y marcas registradas hacia derechos sobre bases de datos diseños y topografía de semiconductores</p> <p>El aporte de esta licencia radica en ser una alternativa non copyleft, es decir no obliga al usuario a utilizar la misma licencia en los derivados. La versión vigente es la 2.0, en revisión por cambios menores</p>

de hardware utilizado en investigaciones científicas que pueda ser obtenido, ensamblado, utilizado, estudiado, modificado, compartido y comercializado por cualquier persona. Incluye equipamiento tradicional de laboratorio tanto como materiales auxiliares como pueden ser sensores, reactivos biológicos, componentes electrónicos analógicos o digitales.

Para construir su definición, GOSH hace referencia a dos organizaciones: la Asociación de Hardware Abierto (OSHWA) y la definición de *Free Cultural Works*. La distinción entre «abierto» y «libre» es una larga discusión dentro de la comunidad que se remonta a la separación entre la Fundación del Software Libre y la proposición del concepto de Código Abierto*. En español esa ambigüedad no existe, por lo cual es común encontrar los términos «*hardware libre*», «*tecnologías libres*», «*tecnologías abiertas*» y otros similares en proyectos en Latinoamérica.

A partir de la primera reunión de la comunidad GOSH en 2016 el grupo escribió un [manifiesto por el hardware científico abierto](#), actualmente firmado por 495 personas. En este manifiesto se hacen evidentes dos de los argumentos más fuertes que esgrime la comunidad para promover sus actividades:

- Utilizar hardware abierto para la producción de conocimiento hace que los procesos sean más eficientes en términos de tiempo, costos e innovación;
- Utilizar hardware abierto para la producción de conocimiento contribuye a democratizar estos procesos

En 2018 la comunidad identificó tres áreas principales de trabajo necesarias para impulsar el hardware científico abierto a nivel global: aprendizaje, sostenibilidad y crecimiento. Bajo «aprendizaje» se incluyen las áreas donde es necesario producir investigaciones y conocimiento específico para el crecimiento. Éstas incluyen entre otras un mejor entendimiento de la diversidad presente en la comunidad, cómo las personas interactúan y colaboran, cuáles son las licencias utilizadas y sus ventajas y desafíos, casos exitosos de modelos de negocio, los riesgos que se presentan y cómo pueden mitigarse, confección de métricas situadas que permitan evaluar las iniciativas de manera justa. El eje de «sostenibilidad» apunta a infraestructuras necesarias para el crecimiento sostenido en el tiempo, incluyendo el desarrollo de modelos de gobernanza, cómo colocar el tema en agenda institucional, mecanismos para obtener apoyo en términos de fondos, espacios e infraestructura, cómo disminuir las barreras de acceso aún presentes para el gran público y cómo mejorar los estándares de calidad y calibración en los proyectos de la comunidad. Finalmente bajo «crecimiento» los objetivos se agrupan en aumentar el número y diversidad de participantes en la comunidad, desarrollar recursos educativos abiertos y actividades de difusión.

En la siguiente sección se describen los estudios sociales sobre hardware abierto que iluminan algunos aspectos de estos argumentos señalados por la comunidad, reseñando trabajos que específicamente hablan de hardware abierto para ciencia cuando se encuentran referencias disponibles.

*<https://www.gnu.org/philosophy/open-source-misses-the-point.en.html>

2.6 Estudios sociales sobre hardware abierto

El hardware abierto como campo de estudio surge hace aproximadamente una década, dedicado principalmente a la publicación de nuevos desarrollos técnicos; las perspectivas sociales sobre diferentes aspectos de la práctica conforman una proporción minoritaria de la literatura. Los trabajos existentes se pueden categorizar en cuatro tipos: estudios descriptivos de proyectos paradigmáticos, estudios que analizan dimensiones de apertura y colaboración, estudios que analizan los beneficios del OH, estudios de política de OH.

2.6.1 Estudios de casos paradigmáticos

En línea con los desarrollos más relevantes en el campo del OH, varios trabajos analizan la experiencia de la producción de hardware abierto en el CERN, desde distintos ángulos. Powell (2015) toma como punto de partida la conversación entre los expertos del CERN y la comunidad que se conformó alrededor de la creación de la CERN-OHL 1.0 para analizar preguntas de legitimidad en la producción colaborativa; argumenta que la apertura debe ser entendida como un objeto de frontera que permite mediar entre posiciones disímiles y explorar nuevas formas de la producción de conocimiento entre comunidades e instituciones.

van der Bij et al. (2012) documentan de forma temprana el desarrollo del programa de OH en CERN, describiendo elementos «auxiliares» como la creación del repositorio de OH y de la licencia CERN-OHL y documentando la experiencia desde CERN con la industria. (Kauttu y Murillo 2017) realizan entrevistas a miembros del CERN y utilizan datos de una encuesta interna para evaluar la práctica del OH en términos de plataforma de innovación orientada al desarrollo de infraestructuras comunes en grandes colaboraciones científicas. Esto les permite identificar que aunque la documentación en CERN es de alta calidad, actores expertos en hardware señalan que es necesario mejorarla; que existen reticencias por parte de las compañías que ven con recelo la responsabilidad legal de fabricar OH; y que la falta de claridad sobre modelos de negocios para OH es uno de los limitantes principales de la expansión. A partir del estudio del proyecto «*White Rabbit*» en CERN, Murillo (2018) observa además que las infraestructuras abiertas de investigación sirven como legitimación en casos específicos donde emergen controversias acerca de la validez de los datos producidos por los experimentos.

Existe consenso en la literatura sobre el rol clave que juega el surgimiento de las tecnologías de fabricación digital y de proyectos paradigmáticos como Arduino, que

bajan barreras de accesibilidad (Alison Powell 2012; Söderberg 2013). A partir del estudio de la impresión 3D y sus impactos, algunos autores como Bauwens (2011) y Söderberg (2011) conciben al OH como una extensión del modelo de producción de pares, asociándolo a los beneficios de la producción distribuida. Sobre este modelo, algunos autores plantean una conexión entre OH y desarrollo sostenible (Kohtala 2015) y entre OH y el potencial de desarrollar «tecnologías apropiadas» (Pearce 2012).

2.6.2 Estudios de las dinámicas de la colaboración

Otra corriente de literatura aparece desde los trabajos sobre *open innovation* y *open design*, enfocados en el estudio del rol de las comunidades en la innovación y de las dinámicas internas de colaboración. West y Lakhani (2008) critican el escaso estudio de las comunidades dentro de los trabajos sobre innovación abierta (Chesbrough, Vanhaverbeke, y West 2006), proponiendo la siguiente definición de «comunidad»: *una asociación voluntaria de actores, típicamente sin afiliación previa (por ejemplo no trabajan para la misma firma) pero reunidas alrededor de un objetivo compartido concreto*. Con el objetivo de definir los límites de la «comunidad» como objeto de estudio, formulan algunos interrogantes: ¿Quiénes integran la comunidad? ¿Es un conjunto de firmas una comunidad o una red? ¿Existen redes dentro de las comunidades o viceversa? ¿Es posible hablar de comunidad si no existe sentido de pertenencia?

Para el caso particular del hardware abierto, Mies, Bonvoisin, y Jochem (2018) definen a las comunidades como grupos heterogéneos de agentes y actores que co-crean productos de hardware abierto. Extrapolan directamente el modelo de capas o «cebolla» típico del desarrollo abierto de software, donde colaboradores dispersos geográficamente son coordinados por un equipo central a través de plataformas *online*. Los colaboradores contribuyen de forma individual tomando el rol de seguidores, replicadores, desarrolladores o administradores dentro de la comunidad. Su rol como colaboradores y el tiempo invertido en el proyecto es determinado a nivel individual. West y Lakhani (2008) mencionan que aunque el modelo de cebolla es observable, los límites entre el núcleo y periferia son más claros que los límites entre colaboradores y no colaboradores de la periferia. Cita como ejemplo el estudio de 116 proyectos de la plataforma SourceForge (Crowston y Howison 2005) donde se encontraron diferentes nociones de pertenencia a partir de diferencias en responsabilidades, contribuciones e interacciones.

Buechley y Hill (2010) observan que la colaboración se da de manera más descentralizada en hardware que en software, notándose mucho más frecuentemente

múltiples iniciativas de pequeña escala, con una dinámica más «privada» de la colaboración, que grandes iniciativas con comunidades numerosas. El carácter privado de la colaboración también es observado por Malinen et al. (s. f.) en el caso del desarrollo del eCar finés: a la hora de construir hardware, es más común que la colaboración exitosa se pueda dar en pequeños grupos que al menos una vez se encuentran físicamente en lugares de trabajo. Mellis y Buechley (2012) analiza las derivadas de la plaqueta *Arduino Duemilanove* para caracterizar la dinámica de la colaboración en hardware respecto de software; encuentra también un ecosistema de numerosos grupos pequeños (incluyendo compañías) que ofrecen derivados del producto sin afectar radicalmente la funcionalidad original.

En la misma línea de análisis de colaboración en hardware versus software, Raasch (2011) compara el modelo en capas del desarrollo de software con el proceso de desarrollo abierto de un producto de hardware, identificando similitudes y diferencias. Dentro de las similitudes encuentran el uso de licencias abiertas, la ausencia de control sobre la participación de los colaboradores, la distinción entre núcleo y periferia de colaboradores asociados a roles diferenciales, la estructura de revisión, experimentación y liberación de versiones estables y el desarrollo basado en la experimentación y práctica por parte de la comunidad. Las diferencias son agrupadas en cuatro categorías:

1. la diversidad de conocimientos requerida es mayor en hardware
2. la disponibilidad todavía limitada de software de código abierto de calidad para diseñar hardware
3. la existencia de patentes sobre los objetos que hace que partes del mismo constituyan cajas cerradas para los colaboradores
4. el acceso diferencial a componentes en distintos países

Mellis y Buechley (2012) coincide en las diferencias entre software y hardware encontradas por Raasch (2011), y agrega como diferencia que la frecuencia de iteración e integración de cambios es menor y costosa, incentivando a los usuarios a comercializar su versión más que a contribuir al producto original.

El rol de los espacios físicos en la colaboración es otro de los temas analizados por estos autores. Raasch (2011) observa que la mayor parte de la experimentación ocurre *offline* por lo cual desarrollar documentación es un esfuerzo extra, que hace que por ejemplo los experimentos fallidos no sean generalmente documentados. Tech, Ferdinand, y Dopfer (2016) observa que el prestigio de los miembros de una comunidad, especialmente en espacios offline, influye en el grado de aceptación de sus contribuciones; detecta además diferencias entre la modalidad de colaboración online versus la offline, con la primera tendiente a publicar los diseños

una vez alcanzado un estadio de producto medianamente avanzado, no antes. Morreale et al. (2017) estudian cómo surge una comunidad maker alrededor de un instrumento musical abierto, destacando que la sostenibilidad de las comunidades está relacionada a la presencia física (por ejemplo en makerspaces) que facilitan los procesos de aprendizaje situado.

Otros autores estudian los procesos que siguen las comunidades que logran desarrollos con mayor colaboración. Mies, Bonvoisin, y Jochem (2018) resaltan que la fuente primaria de creación de valor de las comunidades consiste en generar momentum que culmine en trabajo distribuido y relevante al desarrollo de objetos complejos. Los autores observan a partir de la documentación de los proyectos la siguiente secuencia de trabajo:

1. definición del problema a trabajar (modularidad) y auto asignación de tareas
2. contribución y validación por parte del equipo núcleo (en múltiples iteraciones)
3. integración de versiones estables (mejora continua)
4. documentación a medida que se desarrolla

El análisis de documentación es una de las prácticas más utilizadas para comprender la dinámica colaborativa de las comunidades de OH. Bonvoisin, Buchert, et al. (2018b) analizan proyectos de hardware abierto a partir de datos de repositorios *online* para entender qué tan transparentes son y cómo se distribuyen las contribuciones dentro de los mismos; encuentran que la estructura de la mayoría de los proyectos es descentralizada, similar al modelo de red en estrella que se observa en las contribuciones de proyectos de software.

2.6.3 Estudios sobre beneficios del OH

2.6.3.1 Beneficios económicos y de eficiencias

El surgimiento y crecimiento de las compañías basadas en hardware abierto, particularmente el caso de Arduino y otras firmas como Sparkfun y Adafruit, desafían la lógica de los modelos de negocio tradicionales. Quizás en respuesta a esta disrupción, una porción importante de la literatura se dedica al análisis de los beneficios económicos del OH, estudiando en particular los modelos de negocio exitosos en OH y su comparación con la industria del software.

Moritz et al. (4d. C.) hace un análisis de los diferentes modelos de negocio en OH, clasificándolos en primarios o basados en desarrollo de hardware, y

secundarios o basados en actividades de soporte y expertise; observa además que una parte significativa de casos presenta modelos mixtos. Benichou y Tincq (2014) proponen una tipología de modelos de negocio para hardware abierto que distingue entre aquellos basados en diseño, en fabricación, en conocimiento y expertise, en sistemas de producto-servicio, en estandarización, y en modelos de plataforma para interacción de la comunidad. Plantea además que la extrapolación de modelos desde el software al hardware no es directa: el costo marginal de producción de hardware no es cero, como en software; las cadenas de suministro en hardware involucran múltiples organizaciones y sets de habilidades a comparación del software; los estándares de calidad y seguridad que aplican al hardware no aplican al software.

Li, Seering, y Wallace (2018) caracteriza los modelos de negocio del hardware abierto en base a entrevistas a veinte compañías, encontrando una tipología similar a la mencionada anteriormente; los autores observan que a diferencia de la industria del software, la venta directa de productos es todavía la principal ruta de ingresos en las compañías de OH y que esto se asocia positivamente a la cultura comunitaria de la compañía; que la publicidad no tiene impacto significativo dada la fragmentación en comunidades, y que la práctica de coexistencia entre diseños abiertos y cerrados es común como base del modelo de negocios.

Box 4: Adafruit

Adafruit Industries es una compañía basada en hardware abierto fundada en 2005 por la ingeniera Limor Fried mientras estudiaba en el Massachusetts Institute of Technology. La empresa diseña y fabrica una serie de productos electrónicos abiertos, además de vender un amplio rango de componentes, herramientas y accesorios vía su tienda web. Los productos ofrecidos abarcan rangos de principiante a experto.

Todos sus productos son fabricados en la planta en Nueva York, que cuenta con más de cien empleados. En 2013 entregaron 480 mil pedidos con más de un millón de productos, obteniendo ingresos por 22 millones de dólares. En 2016 registraron su pedido número un millón.

El nombre Adafruit proviene del nickname «LadyAda» que Fried utilizaba online como homenaje a Ada Lovelace, la pionera en ciencias de la computación. La compañía además produce recursos educativos, incluyendo tutoriales escritos y videos en Youtube con el objetivo de entusiasmar a más personas para que se involucren en el desarrollo de tecnología, especialmente mujeres.



Figura 2.4: Limor Fried (Lady Ada) creadora de Adafruit, en la revista MAKE

Pearce (2018) aborda específicamente los modelos de negocio para hardware científico abierto, proponiendo una tipología de acuerdo a quienes demandan el producto:

- «Makers»: grupos que fabrican sus propios equipos utilizando hardware abierto;
- «Consumidores»: grupos que pagarían para que otros fabriquen sus equipos, incluye grupos de investigación en instituciones con altos presupuestos, tiempos ajustados o poco personal, o en dominios por fuera de física o ingeniería donde puede resultar más difícil obtener el expertise.
- «Terciarizadores»: grupos que terciarizan experimentos a laboratorios o compañías especializados

Esta tipología coincide con algunas de las mencionadas anteriormente, sin embargo resulta útil para pensar en procesos típicos del uso de OH en ciencia y aún no muy explorados, como la calibración y validación de los artefactos. Adicionalmente, Pearce elabora una serie de trabajos donde identifica los beneficios económicos del HCA: detecta reducciones de entre el 90-99% en los costos de instrumental de laboratorio fabricado por los propios investigadores Pearce (2014); cuantifica el valor económico del HCA (Pearce 2015); y calcula la tasa de retorno sobre la inversión (Pearce 2016).

Por otro lado, algunos autores analizan los grados de apertura como reflejo de la participación en los proyectos de OH, y elaboran recomendaciones para la comunidad. Bonvoisin, Mies, et al. (2017a) hacen una evaluación de la apertura de proyectos de OH basándose en cuatro dimensiones asociadas a las libertades del software libre:

- Transparencia (T) asociada a la libertad de estudiar, se cumple cuando se publican los archivos de diseño.
- Accesibilidad (A) asociada a la libertad de modificar, se cumple cuando el contenido publicado es editable o existen guías para la contribución.
- Replicabilidad (R) asociada a la libertad de fabricar, se cumple cuando se publican listas de materiales e instrucciones de ensamblado.
- Posible uso comercial (C) asociada a la libertad de distribución, se cumple cuando las licencias permiten el uso comercial del contenido publicado.

Los autores proponen un indicador de apertura basado en la disponibilidad de documentación de los proyectos, por puntaje acumulativo (Open-O-Meter).

Los resultados de la aplicación del Open-O-Meter sobre más de cien proyectos muestran una heterogeneidad de prácticas de documentación, con 18% de proyectos que no cumplen con ninguno de los requisitos. Los autores asocian esto a posibles interpretaciones equivocadas de la apertura, procesos de «*open-washing*» (utilizar la apertura para ganar reputación o mercados sin realmente ejercer las prácticas) o el efecto del tiempo sobre los proyectos, e identifican la necesidad de nuevos estándares públicos que clarifiquen el uso del término.

Sobre este trabajo, Bonvoisin y Mies (2018) proponen una topografía de la documentación de OH que considera las cuatro libertades del software libre y las «fuentes» que deben documentarse para alcanzarlas. Toman para ello el concepto de apertura de producto y apertura de proceso, e identifican que en el discurso sobre código abierto la apertura de proceso está implícita por definición, y por ende es necesaria su implementación. Los autores identifican que la apertura del proceso de innovación no está explícitamente declarada en las buenas prácticas o guías de certificación disponibles, y numerosos proyectos no la incorporan. Sin embargo, alertan que es poco realista en términos de inversión de tiempo para los proyectos exigir toda la documentación ya que además estos requisitos varían en las distintas etapas de vida de los proyectos. En este último sentido vale remarcar la aparición en 2020 de un estándar alemán de documentación de hardware abierto orientado a la industria, el [DIN SPEC 3105-1:2020-07: Open Source Hardware](#).

2.6.3.2 Beneficios asociados a la democratización

Los beneficios de democratización asociados a la práctica del OH están menos explorados que los de eficiencia. El estudio de iniciativas comunitarias utilizando HCA se centra en el análisis de su potencial para producir conocimiento por vías alternativas, a fin de abordar preguntas de ciencia no hecha (Hess 2016). Suelen concentrarse en las dos áreas donde la práctica tiene mayor impacto dadas las disputas políticas sobre el conocimiento: conflictos socioambientales y respuesta ante desastres. (Wylie et al. 2014) comparan dos proyectos utilizando HCA en Estados Unidos, uno promovido desde la academia y otro desde una comunidad, ambos trabajando en monitoreo ambiental. Argumentan que estas iniciativas forman parte de un nuevo paradigma de «*civic technoscience*» donde el uso de tecnologías materiales (artefactos), el compartir aprendizajes a través de tecnologías sociales (foros, eventos comunitarios, wikis) y su circulación y reproducción vía tecnologías literarias (licencias abiertas) habilita una alternativa a la producción científica formal. El rol de la academia, plantean, debería ser abrir sus puertas a la colaboración desde el acompañamiento, ofreciendo expertise e infraestructuras de mayor complejidad.

Luego del desastre de Fukushima y ante la respuesta comunitaria de mapeo de radioactividad, Murillo (2016) describe la forma en que «lo abierto» instrumentó la organización de las comunidades de base de forma alternativa a los esfuerzos oficiales de monitoreo, planteando que los conceptos clave para analizar el proceso son la construcción de expertise y la responsabilidad. Kenny, Liboiron, y Wylie (2019) describen como la implementación de un proyecto educativo utilizando HCA en Estados Unidos y Canadá permitió a los estudiantes aproximarse a problemáticas de justicia ambiental, al investigar el impacto de instalaciones industriales en la salud y vida cotidiana de sus comunidades.

Desde el sur global, en base al desarrollo de talleres itinerantes de OH en Latinoamérica y África Baden et al. (2015) reportan las ventajas en términos educativos de contar con instrumental de bajo costo en países de baja inversión en educación, ciencia y tecnología. Kera (2017) analiza la forma en que los colaboradores y participantes en talleres de HCA no solo «juegan» con las herramientas sino también con las políticas de diseño, conocimiento y práctica de la gobernanza comunitaria. Más adelante, Kera et al. (2019) analizan cómo el HCA en el sur global sirve como infraestructura de lo que denominan *little science* o instancias de no-expertos experimentando con ciencia en la vida cotidiana; argumenta que esto vuelve al HCA una alternativa positiva a la profesionalización de la ciencia en universidades e institutos de investigación, más cercana a los problemas de las comunidades.

Atendiendo a la escasez de literatura que analice específicamente el OH y sus potenciales beneficios para la democratización, los siguientes párrafos amplían el campo de observación hacia los estudios sobre la participación en ciencia, en particular al fenómeno que en los últimos años se denominó «ciencia ciudadana». Algunas de estas líneas se retoman desde el marco teórico, en el próximo capítulo.

Lengwiler (2008) hace un recorrido por la evolución de la relación entre producción de conocimiento y participación de no expertos desde fines del siglo XIX al presente. A modo de gran síntesis, identifica cuatro etapas en base a la relación entre ciencia, política y conocimiento no-experto en cada contexto: previo a la primera guerra mundial, una etapa donde la ciencia resultaba relativamente permeable a la superposición con otras actividades sociales como la función política y este carácter híbrido resta importancia a la división entre expertos y no expertos. El período entre guerras, con la creciente profesionalización de la ciencia y diferenciación en disciplinas que origina un movimiento de respuesta que llama a una mayor integración de los campos del conocimiento; la implementación de políticas fuertemente orientadoras de la ciencia y la innovación contribuyen a politizar la arena científica. La posguerra, que trajo un nuevo contrato social para

la ciencia donde la política le otorga gran autonomía tanto en términos de fondos como en control de calidad, en virtud de su asumida capacidad de autorregulación y en pos de evitar su apropiación por parte de regímenes totalitarios. Sobre este período, Collins y Evans (2002) agregan que el rol de los analistas estaba enfocado en comprender y reforzar el éxito de la ciencia, más que cuestionar su funcionamiento.

A partir de los años '70, el crecimiento de los movimientos sociales y su crítica al tecnocentrismo fue fundamental en el desarrollo de políticas participativas en ciencia y tecnología. Las políticas de posguerra, bajo la presión de la desconfianza pública y una serie de escándalos involucrando científicos, dieron lugar a nuevos instrumentos de intervención (Guston 1999). Durante este período se vuelven cada vez más frecuentes las instancias de deliberación pública sobre la adopción de tecnologías y de rumbos de política científica (Frickel y Moore 2006).

Más recientemente, Jasanoff (2003) identifica el «giro participativo» en ciencia y tecnología hacia fines de los '90 como el movimiento epistemológico y político hacia la responsabilidad y la agencia de la sociedad en la producción de conocimiento científico. Collins y Evans (2002) definen esta nueva etapa como la segunda ola de los ESCT, argumentando que a diferencia de los años '70, el eje del problema se mueve ahora desde la democratización de la toma de decisiones técnicas al desdibujamiento del rol de los expertos.

Uno de los fenómenos más significativos en este proceso de desdibujamiento del rol de los expertos es lo que se denomina «ciencia ciudadana». Strasser et al. (2018) propone una tipología de ciencia ciudadana basada en la actividad epistémica principalmente desarrollada: actividades de **sensado**, como el proyecto *eBird*, que aprovechan el conocimiento local de los no expertos para expandir el alcance espacial de proyectos observacionales; de **cómputo**, como *SETI@Home*, donde los no expertos ofrecen voluntariamente su poder distribuido de cómputo como contribución a distintos proyectos de investigación; de **análisis** o también llamados *crowdsourcing*, como *Galaxy Zoo*, donde se busca avanzar colectivamente en problemas de investigación que implican la clasificación de enormes cantidades de datasets; de **auto-monitoreo**, con el ejemplo de *23andme*, donde los participantes ofrecen sus datos de monitoreo fisiológico a proyectos de investigación; y de **fabricación** o **making**; con su máximo exponente en *DIYBio*, donde los participantes directamente crean artefactos y conocimiento científico. Esta tipología permite también identificar iniciativas que no se identifican como «ciencia ciudadana», como la investigación-acción participativa o la ciencia comunitaria.

En esta misma línea, Kimura y Kinchy (2016) revisan la literatura de ciencia

ciudadana y plantean que, en su mayoría, los estudios sobre el tema ponen el foco en el grado de participación de los no expertos en las iniciativas (Kleinman 2000). A modo de crítica, señalan que esto impide ver otras potenciales dinámicas de poder e identifican en la literatura siete «virtudes» de la ciencia ciudadana, por fuera del grado de participación, que se priorizan de forma diferencial en contextos diferentes:

- generación de grandes volúmenes de datos,
- contribución a la educación científica de la sociedad,
- empoderamiento de los participantes a través de la construcción de liderazgo y capital social,
- balance de las desigualdades entre expertos y no expertos a través de la colaboración,
- disputa a las narrativas dominantes,
- influencia en políticas y victorias en el terreno de lo judicial

Estas virtudes entran muchas veces en contradicción generando situaciones indeseables, como cuando la participación de no expertos reduce el financiamiento de líneas de investigación o invisibiliza preguntas no plausibles de ser respondidas «con más datos» Kimura y Kinchy (2016).

2.6.4 Estudios sobre políticas

Joshua M Pearce (2017) propone las primeras recomendaciones de políticas promoviendo la adopción de HCA para el caso de Estados Unidos, con similares propuestas posteriores para el caso de Finlandia (Heikkinen et al. 2020). Las recomendaciones en ambos casos se orientan al uso eficiente de la inversión pública, tanto por parte de agencias de financiación como en los mismos presupuestos de las universidades e instituciones de investigación:

1. Establecer una agencia federal que identifique las oportunidades estratégicas de inversión con alto ROI en términos de hardware científico abierto;
2. Promover el desarrollo de los equipos identificados, favoreciendo la compra de equipos abiertos validados en todas las dependencias del Estado y asegurando fondos para su desarrollo;
3. Crear una base de datos abierta de hardware científico abierto validado con toda su documentación asociada;
4. Proveer incentivos a emprendedores para escalar la producción de componentes de difícil acceso.

Por otro lado, a partir de la experiencia de desarrollo de talleres y prácticas educativas itinerantes basadas en HCA en países de África y Latinoamérica, Baden et al. (2015) hacen recomendaciones generales de políticas para el desarrollo del HCA, orientadas principalmente a la educación e investigación. Estas incluyen la incorporación del HCA a la currícula escolar, el entrenamiento de investigadores y docentes en uso y fabricación de HCA, la inversión en infraestructura de fabricación digital en las instituciones de investigación y educación, y la promoción de la inversión empresarial en modelos abiertos de desarrollo de producto.

En Latinoamérica, uno de los dos países donde existen recomendaciones sobre OH para la política pública es Ecuador (Barandiaran D. 2015), en el marco de una propuesta integral de políticas públicas relacionada al «Buen Vivir/Buen Conocer». El documento se posiciona contrario al capitalismo cognitivo haciendo énfasis en la soberanía tecnológica. Entre los lineamientos, algunos de los cuales coinciden con Joshua M Pearce (2017) y otros presentan un tono más cercano a la ciudadanía, se incluyen:

- Crear lineamientos, códigos de prácticas, marcos legales y espacios experimentales para promover el uso de *open design*
- Diseñar estrategias de comunicación para impulsar el Hardware Libre (HL) para la soberanía tecnológica, entre otros beneficios, en universidades, centros de investigación y en la Administración Pública
- Identificar oportunidades para la realización de las metas estratégicas nacionales y de un alto retorno de la inversión en HL de uso científico.
- Fomentar la economía popular a través de proyectos de innovación ciudadana basados en HL
- Proporcionar incentivos fiscales para que los empresarios del Ecuador comiencen a producir estos equipos.
- Crear laboratorios que fomenten la innovación ciudadana comenzando con programas piloto en las universidades públicas ecuatorianas.
- Crear un catálogo nacional de HL de uso científico libre, evaluado y validado con la lista de materiales, diseños digitales, instrucciones de ensamblaje, de operación y todo software relacionado.

Por otro lado, en Venezuela el Centro Nacional de Desarrollo e Investigación en Tecnologías Libres (CENDITEL)* se propone como una “*iniciativa para impulsar los procesos necesarios que permitan transitar el camino hacia el verdadero rol que deben cumplir la ciencia, la tecnología y la innovación*”; dentro de sus líneas de trabajo

*<http://hl.cenditel.gob.ve/>

se encuentra la promoción del OH para las áreas de comunicaciones, agricultura y salud.

Más recientemente, a fines de 2020 e inicios de 2021, una serie de recomendaciones de políticas específicas para HCA comenzaron a surgir específicamente dirigidas al público estadounidense. Organizadas por el think tank [Wilson Center](#), la elaboración de recomendaciones es liderada por miembros de las comunidades OSHWA y GOSH, coordinada por el think tank. Como parte de su programa de Innovación en Ciencia y Tecnología se publicaron diferentes materiales y recomendaciones: promoción del hardware abierto en base a la respuesta de la comunidad ante la pandemia de COVID-19 (Bowser et al. 2021), identificación de casos exitosos (Parker y Novak 2020a), argumentos en pos de la promoción del hardware abierto para ciencia (Parker et al. 2021) y un relevamiento de la infraestructura comunitaria que permite el desarrollo del hardware abierto para ciencia (en proceso de elaboración, con participación de la autora).

2.7 Resumen del capítulo

Este capítulo presentó una revisión de la literatura que permite contextualizar los objetivos y preguntas de este trabajo. Se abordó el concepto de hardware abierto desde el punto de vista artefactual, describiendo los distintos usos comerciales, educativos y hobbistas, y de investigación. También se describió el hardware abierto como práctica, definiendo sus principales características: uso de herramientas de fabricación digital, metodologías de diseño modular, ciclos iterativos de trabajo y diseño orientado a la usuaria; prácticas de documentación y uso de licencias. El término hardware abierto también refiere a comunidades, razón por la cual se presentó la comunidad en estudio, el movimiento global por el hardware científico abierto (GOSH), sus principales ideas y la definición de **hardware científico abierto** adoptada en este trabajo.

Se hizo una revisión de la literatura de estudios sociales sobre hardware abierto, y en particular sobre hardware científico abierto, que muestra que a pesar de la relevancia que el tema cobra en los últimos cinco años, las líneas mayoritariamente presentes son aquellas que estudian los usos comerciales o de desarrollo de producto. Los principales grandes temas estudiados se dividieron en a) el estudio de casos paradigmáticos, b) el estudio de la colaboración, c) el estudio de los beneficios tanto económicos como democratizantes del OH, d) estudios sobre políticas.

El área de interés, los beneficios del OH en términos de democratización, se encuentra sub estudiada. Los estudios de casos comunitarios de HCA analizan

las prácticas alternativas de las comunidades para producir ciencia no hecha, en particular en casos conflicto socioambiental y respuesta comunitaria ante desastres, siempre desde el norte global. A excepción del caso de Kera et al. (2019) y su investigación en el sudeste asiático, estas aproximaciones no abordan la cuestión de quiénes participan en estos grupos y de qué forma los mecanismos de la participación se materializan en nuevos artefactos. Por otro lado, la dinámica de los proyectos de HCA en las instituciones solo ha sido abordada para el caso particular del CERN, no existiendo estudios en universidades ni instituciones en países periféricos.

La escasez de literatura en el área de interés llevó a ampliar la escala de observación y presentar una síntesis de conceptos sobre participación de no expertos en ciencia, y en especial, ciencia comunitaria. Se identificaron así una serie de prácticas dentro del concepto de «ciencia ciudadana», categorizadas de acuerdo al componente epistemológico principal; además se identificaron virtudes de la ciencia comunitaria que van más allá de los típicos análisis de escala de participación de no expertos y que presentan nuevas dimensiones de poder.

Este trabajo pretende abordar el espacio que se abre en la literatura de análisis de beneficios del OH, a partir de estudiar las dinámicas de la participación en proyectos de HCA académicos y comunitarios en Latinoamérica y África, para comprender de qué forma pueden contribuir (o no) al argumento de democratización de la producción de conocimiento (GOSH community 2018). En el siguiente capítulo se presenta el marco teórico elegido para delimitar y analizar esta pregunta en general, y las preguntas específicas en particular.

Capítulo 3

Marco teórico

3.1 Introducción al capítulo

La democratización de la tecnología es un tema discutido cada vez más frecuentemente, dadas las consecuencias de su mediación total de la vida cotidiana. En particular, en los últimos treinta años la consolidación de los «Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología» (ESCT) como campo de estudios interdisciplinar generó una pluralidad de escuelas de pensamiento, tanto en términos teóricos como en análisis empíricos, acerca de la relación entre ciencia, tecnología y sociedad.

El paradigma constructivista estabilizado actualmente en los ESCT, y en el que se enmarca esta tesis, surge como crítica a la división ficticia entre «tecnología» y «sociedad» que domina el discurso tecnológico. Por un lado, las visiones que conciben todo avance tecnológico como autónomo, universal, socialmente neutro, evolutivo hacia el progreso de toda la especie humana; por otro, la visión para la cual todo avance tecnológico está inevitablemente ligado a un paradigma de control y opresión (Bush y Holt 2021; Heilbroner 1967; Winner 2001). Una alternativa superadora a estos determinismos se plantea desde un análisis de «lo socio-técnico», o el *tejido sin costuras* (Hughes 1986), donde lo social y lo técnico se reconfiguran mutuamente.

En línea con esta visión, esta investigación adopta una definición de *tecnologías* en sentido amplio para poder analizar la forma que podría tomar su «democratización», desde una perspectiva sociotécnica. El objetivo es superar tanto una visión de artefactos o innovaciones autónomas como el estudio limitado a su «impacto social». Tecnologías, entonces, son todos los artefactos, procesos y formas de organización que se despliegan como acciones (cognitivas, artefactuales y prácticas) realizadas conscientemente por los humanos para alterar o prolongar el

estado de las cosas (naturales o sociales) con el objetivo de que desempeñen un uso y una función (Thomas, Santos, y Thomas 2016).

Este capítulo describe el marco teórico elegido para el análisis de GOSH tanto a nivel colectivo como de proyectos y experiencias individuales, dentro del marco de «lo socio-técnico». A nivel colectivo (pregunta de investigación 1), el análisis está enmarcado por dos literaturas: transiciones socio-técnicas para analizar el cambio a nivel de sistema, y movimientos de innovación de base para incorporar la dimensión política de la innovación colectiva. En las siguientes secciones la escala de observación se mueve desde el colectivo hacia los proyectos, a fin de comprender cómo el discurso global se articula con las prácticas discursivas y materiales de los participantes en sus contextos.

Para operacionalizar el concepto de «democratización de la ciencia y la tecnología» que GOSH articula en su discurso global, partimos de observar el manifiesto GOSH. Este documento fundacional plantea el objetivo del movimiento en términos de “*bajar las barreras entre los diseñadores y usuarios de tecnología a fin de apoyar la generación y el aumento de la producción de conocimiento científico*”. La lógica expuesta, coherente en los sucesivos documentos elaborados por el movimiento, es que el uso y construcción de herramientas científicas abiertas permitiría que los usuarios ejerzan las libertades de uso, modificación, estudio y comercialización de las tecnologías. Y que a partir de ello podrían contribuir a la producción de, o producir más y mejor, conocimiento científico. Las preguntas de investigación 2 y 3 desagregan este objetivo en dos etapas: producción de herramientas y producción de conocimiento.

Para comprender los procesos de producción de herramientas (pregunta de investigación 2) el análisis se plantea como situado *desde la usuaria*. Se utiliza en primer lugar el enfoque de Design Justice, basado en la tradición feminista-semiótica de los ESCT y la investigación-acción participativa, para describir cómo los artefactos producidos en proyectos GOSH redistribuyen los privilegios de uso entre los nuevos usuarios, su grado de participación en el proceso de diseño y su diversidad. Este análisis se combina con un enfoque surgido dentro de los estudios culturales pero revisitado en los últimos años por autores de los ESCT, la teoría de domesticación de la tecnología. Sus categorías se utilizan para comprender qué trabajos cognitivos, simbólicos y materiales de los usuarios/desarrolladores conducen a esa redistribución.

Para comprender cómo el acceso a las herramientas habilita o no la producción de conocimiento científico en contexto (pregunta de investigación 3) se recurre a la literatura producción útil de conocimiento científico, combinada con conceptos

de participación en ciencia y tecnología, en particular ciencia ciudadana y comunitaria. De esta forma se identifican los obstáculos que impiden la producción de conocimiento apropiable o útil en contexto, y las estrategias desarrolladas por las comunidades para participar de la agenda científica. El enfoque de desarrollo humano se utiliza para evaluar si y cómo las experiencias de los participantes en proyectos GOSH habilitan la producción de conocimiento científico útil para cada contexto.

PREGUNTA GENERAL	¿DE QUÉ FORMA LAS PRÁCTICAS DE HCA EN EL SUR GLOBAL CONTRIBUYEN A DEMOCRATIZAR LA PRODUCCIÓN DE CONOCIMIENTO?					
PREGUNTAS ESPECÍFICAS	PREGUNTA 1 ¿De qué manera GOSH se constituye como un nicho estratégico de innovación?		PREGUNTA 2 ¿Cómo proyectos GOSH promueven la participación de nuevos y más diversos actores en la producción de conocimiento?		PREGUNTA 3 ¿En qué medida y cómo los participantes adquieren capacidades para la producción de conocimiento "útil"?	
MARCOS TEÓRICOS	Transiciones sociotécnicas	Movimientos de innovación de base	Design Justice	Domesticación de la tecnología	Enfoque de desarrollo humano	Producción de conocimiento "socialmente útil"
DIMENSIONES DE ANÁLISIS	Contextos Marcos de pensamiento Espacios Estrategias Trayectorias alternativas		<i>Affordances</i> Interseccionalidad Espacios subalternos Trabajo cognitivo Trabajo práctico Trabajo simbólico		Funcionamientos Capacidades Conocimiento robusto Interacciones productivas Procesos de traducción	

Figura 3.1: Esquema de marco teórico

3.2 Del cambio: transiciones socio-técnicas

El movimiento global por el hardware científico abierto (GOSH) plantea una nueva forma de construir herramientas científicas que se propone como más abierta, colaborativa y democrática que la dominante cuyo diseño es cerrado, su fabricación centralizada y asociada al uso de patentes industriales. Se trata de una propuesta de cambio socio-técnico, una transición desde la configuración actual hacia un esquema de actores, prácticas, regulaciones, artefactos y relaciones diferente. Entre

las literaturas más utilizadas para analizar este tipo de escenarios se encuentra la teoría de transiciones o «perspectiva multi-nivel» (MLP por sus siglas en inglés), como también se la suele denominar [(Geels 2002; Geels y Schot 2007; Schot y Geels 2008)].

La teoría de transiciones tiene su origen en la convergencia principalmente de dos literaturas: la economía evolucionista (Nelson y Winter 1982; Schumpeter 1934) y la sociología de la tecnología (Latour 1990; Rip y Kemp 1998). A partir de una crítica a ambas, la MLP intenta resaltar el carácter híbrido del desarrollo tecnológico, incorporando los elementos sociales y culturales a la visión técnica y estudiando su interrelación. De la **sociología de la tecnología** toma el aspecto constructivista: el desarrollo tecnológico no existe de forma aislada, sino que posee entidad a partir de cumplir una función social -provisión de alimentos, vivienda, energía, etc.-. La tecnología es una «*configuración que funciona*» (Rip y Kemp 1998), y lo hace gracias a las conexiones entre sus elementos, que no son exclusivamente técnicos: son también normativas, prácticas de usuarios, redes de infraestructura, significado simbólico, patrones de comportamiento de las organizaciones, factores culturales, etc. Transformar estas configuraciones socio-técnicas es una tarea compleja dada su gran estabilidad; los cambios en los elementos sociales pueden dar lugar a cambios técnicos y viceversa (Latour 1990).

De la **economía evolucionista** la MLP toma el concepto de trayectorias, pero critica la separación entre las etapas de exploración de nuevos desarrollos tecnológicos (proceso de «variación») y de selección de los mismos (o «ambiente de selección»). MLP argumenta que esta división no ocurre en la realidad: quienes crean o diseñan tecnología poseen visiones y valores implícitos que influyen sus elecciones tecnológicas, y por otro lado, ante la introducción de una nueva tecnología los usuarios juegan un papel en la adopción, determinando su éxito o fracaso (Hoogma et al. 2002). Otra de las críticas de la MLP al modelo evolucionista se centra en la visión reduccionista del «ambiente de selección», que es planteado sólo en términos de mercado neoclásico -estructura y tamaño de la demanda, precios. La decisión de adoptar o no una tecnología, plantea la MLP, va más allá de lo meramente económico, incluyendo factores institucionales -regulación, relación empleador-empleado, estructuras políticas-, sociales, culturales, geográficos.

En base a estas consideraciones, MLP propone un **modelo coevolutivo de variación y selección** (Schot, Hoogma, y Elzen 1994), que al entender la tecnología como una configuración de elementos que cumple una función social, plantea los cambios tecnológicos como «transiciones socio-técnicas»: grandes transformaciones en las formas de cumplir con determinadas funciones sociales. Como tal, es frecuentemente utilizada en trabajos que buscan entender por qué

ciertas tecnologías son «exitosas» en términos de adopción, y cómo esos procesos evolucionan a través del tiempo. El cambio socio-técnico se concibe como un proceso de largo plazo, multi-dimensional, transformador de las variables fundamentales en las que se basa el sistema, resultante de la interacción y dinámica de tres niveles de análisis: nicho, régimen y entorno (de allí la denominación de perspectiva multi-nivel).

3.2.1 La perspectiva multi-nivel

El **nicho** se conceptualiza como el hogar de la innovación radical (Grin et al. 2011), un espacio protegido donde el ambiente de selección se maneja con reglas diferentes al status-quo. Estas condiciones diferentes, más laxas, permiten que surjan nuevas ideas y se pruebe su potencial de cumplir la función social de interés de una manera alternativa. En las primeras etapas de la innovación los costos son altos y el desempeño no es ideal, por lo cual estas alternativas no podrían sobrevivir si las reglas no fueran flexibles. Los actores realizan trabajo cognitivo, institucional, económico y político a fin de sostener los nichos de los que forman parte (Seyfang y Smith 2007)

Dentro de los nichos se dan varios procesos:

- Procesos de **aprendizaje** en varias dimensiones: tecnológico, cómo superar fallas, cómo organizarse, sobre la demanda del mercado, comportamientos de usuario, requerimientos de infraestructura, herramientas de política, significado simbólico
- Procesos de articulación de las expectativas o **visiones**: guían las actividades internas y a la vez atraen la atención y financiamiento de actores externos
- Procesos de construcción de **redes** que permiten acceder a recursos de distinto tipo y nuevos actores

Los nichos albergan experimentos donde puede probarse la innovación y perfeccionarla. Como no se estabiliza aún un diseño dominante, los esfuerzos generan múltiples variantes y diversidad. Los nichos ganan momento si las visiones se vuelven más precisas y son aceptadas más ampliamente por el afuera; si al alinearse varios procesos de aprendizaje se llega a una configuración más estable (diseño dominante) y si las redes sociales crecen, ganando la participación de actores más poderosos que generan legitimidad y atraen recursos. Hoogma et al. (2002) identifican dos formas de medir el éxito en el desarrollo temprano de un nicho: i) Calidad de los aprendizajes, más allá de lo técnico para incluir lo organizativo

y social, especialmente los que surgen en relación con factores institucionales; ii) Calidad de la inmersión institucional, que implica el desarrollo no sólo de tecnologías sino de infraestructuras complementarias, articular y difundir visiones creíbles y específicas, y contar con el apoyo de nuevos actores por fuera del nicho.

El **régimen socio-técnico** es el modelo o «configuración que funciona» que el nicho en cuestión pretende influir o reemplazar. Determina las prácticas técnicas, los procesos de producción de tecnología, las características que adopta el producto, las habilidades requeridas, los procedimientos rutinarios y principalmente la forma de definir problemas (Rip y Kemp 1998). El concepto de régimen está inspirado en el trabajo de (Nelson y Winter 1982), que estudiaron cómo las prácticas y rutinas se anclan en la comunidad de ingenieros y organizaciones encargadas de innovar, determinando el rumbo de los futuros desarrollos. MLP amplía el concepto (Geels 2004) incorporando como actores no sólo a los ingenieros-desarrolladores sino también a los usuarios, hacedores de políticas, movimientos sociales, industrias, científicos, y grupos de la sociedad civil (Bijker 1995).

En el régimen los cambios ocurren de forma incremental, a lo largo de trayectorias: los procesos se optimizan pero no se transforman, y se generan barreras al cambio disruptivo. Es el componente estructurador del MLP, que da estabilidad al sistema socio-técnico. Su estabilidad está dada por la forma en que los actores y grupos sociales reproducen las conexiones dentro del sistema y entre ellos mismos. Hoogma et al. (2002) hacen un paralelismo con el concepto de «paradigma tecnológico», que consiste no sólo en el aspecto técnico de un artefacto sino que se amplía a un set de heurísticas basadas en conceptos técnicos y creencias de hacia dónde avanzar, qué problemas resolver y de dónde obtener el conocimiento para hacerlo. En base a esto Hoogma entiende al régimen socio-técnico como reglas no solo en el sentido formal sino como un set de prácticas establecidas que no son fáciles de romper, y que imponen una lógica al cambio sociotécnico.

Por último, el **entorno o contexto sociotécnico** es el factor externo, de mayor rigidez. Se trata de un set de tendencias tecnológicas y sociales conectadas, estructuras profundas y eventos mayores que influyen las oportunidades para las tecnologías inmersas en el régimen y para las alternativas. Es el contexto amplio, que influye al nicho y a la dinámica del régimen, los contiene y condiciona. Algunos componentes del entorno socio-técnico son las estructuras espaciales -como el diseño urbano-, ideologías políticas, valores sociales, creencias, preocupaciones, tendencias macroeconómicas. Es el nivel de mayor grado de estructuralismo en el sentido de que los condiciona fuertemente y está fuera de su rango de influencia. En el contexto o entorno los cambios son lentos (culturales, demográficos, políticos).

3.2.2 Tipologías de transición

La MLP permite establecer relaciones entre los diversos componentes de un sistema en un tiempo y lugar dados, lo que permite analizar momentos de estabilidad y de cambio. Se asume que el cambio en un sistema socio-técnico no es el resultado de procesos lineales, sino de la interacción de múltiples elementos en los tres niveles mencionados: nicho, régimen y entorno. Se trata de un abordaje sistémico, co-evolutivo. No considera que existan relaciones causales simples, sino que son procesos multidimensionales en diferentes niveles que se conectan y retroalimentan (causalidad circular). Por lo cual resaltan las relaciones de alineamiento lateral, las conexiones inesperadas, las situaciones umbral y los puntos de inflexión. Conforman un marco que guía la atención a las preguntas que se consideran relevantes en el estudio de los procesos de cambio.

Para la MLP, que un cambio sociotécnico suceda no depende sólo de los desarrollos en el nicho, sino de que cambios en el entorno presionen al régimen, abriendo ventanas de oportunidad. Estos cambios pueden suceder en diferentes ámbitos: tecnología, mercados, regulados, infraestructura, significado simbólico, redes de actores. Cambios en ciertos puntos de la configuración disparan modificaciones en otros, relacionados. En líneas generales, existen tres elementos que pueden identificarse en estos procesos: a) el nicho gana momento, b) el entorno cambia y presiona sobre el régimen, c) la desestabilización del régimen abre ventanas de oportunidad para el nicho.

Basados en el estudio de ejemplos históricos, Geels y Schot (2007) sugieren una tipología de transiciones en función de dos dimensiones: el momento y la naturaleza de las interacciones entre nicho, régimen y entorno. Esto los lleva a distinguir cuatro trayectorias de transición*:

- **Sustitución tecnológica:** innovaciones disruptivas que se producen cuando la presión a nivel de entorno se combina con nichos estables, generando una sustitución por un nuevo régimen.
- **Transformación:** una presión moderada desde el entorno hacia el régimen que se produce cuando no existen nichos estables, y los actores ajustan gradualmente el régimen para adaptarse a la situación.
- **Reconfiguración:** innovaciones que se incorporan sin mayores obstáculos al régimen y desatan nuevos ajustes bajo presión del entorno

*Smith y Raven (2012) expanden estas nociones a los nichos experimentales proponiendo dos vías de transición: *fit and conform* o situaciones donde el nicho gana competitividad en un ambiente de selección sin cambios, y *stretch and transform*, o situaciones donde cambios en el ambiente de selección favorecen al nicho

- **Desalineado y Realineado:** cambios significativos en el entorno afectan al régimen cuando no existen nichos estables, emergen múltiples nichos que coexisten y compiten por atención y recursos hasta que finalmente uno domina dando origen al nuevo régimen

Utilizar la perspectiva del MLP permite analizar la experiencia de GOSH como colectivo, en términos de nicho, frente al régimen patentado de producción y uso de herramientas para la ciencia. En particular resulta útil para comprender su madurez y potencial para sostenerse en el tiempo e influir en el régimen. Finalmente, el análisis permite iluminar potenciales trayectorias de transición del régimen hacia formas abiertas de producción de herramientas científicas.

3.2.3 La dimensión política: Movimientos de innovación de base

Una de las principales críticas a la literatura de transiciones es su escasa atención a la agencia dado su enfoque estructural, y la omisión de las innovaciones que ocurren por fuera del ámbito de la firma u otras instituciones típicas del ecosistema de la innovación. Estas críticas son relevantes para el caso de GOSH, que como muchos otros movimientos de base, contiene a actores de la sociedad civil que ponen en juego recursos y estrategias materiales y discursivas innovadoras, bajo una demanda clara de cambio social.

Para abordar la dimensión política del cambio socio-técnico, autores críticos proponen combinar el enfoque de transiciones con la literatura de movimientos sociales. Este enfoque de **movimientos de innovación de base (MIB)** (D. Hess et al. 2007; Smith et al 2017) analiza específicamente las comunidades productoras de conocimiento y tecnología que exploran escenarios alternativos de cambio social, con un componente de apertura y participación pública en áreas donde usualmente las firmas y el mercado no producen innovaciones.

Se trata de fenómenos informales que incluyen una diversidad de actores sociales resultado de la acción colectiva, y que requieren de constante colaboración, movilización y reflexión. Estos actores utilizan estrategias de organización para gestionar recursos pero también configuraciones simbólicas que difieren de las dominantes. Presentan flexibilidad para negociar con instituciones como gobiernos o agencias de ciencia y tecnología; se trata de espacios de experimentación que toman diversas formas y estrategias de enlace con actores institucionales, ya sea en términos de movilización, colaboración o cooptación.

A diferencia de los movimientos sociales tradicionales, los MIB no limitan sus repertorios de acción a las formas convencionales de acción colectiva como ser manifestaciones o boicots Smith et al (2017), su foco está en la producción de tecnologías y conocimientos con sentidos diferentes. Aunque sus repertorios de acción pueden incluir protestas públicas u otras medidas similares, esas formas de demostrar poder y unidad no son sus principales medios de expresión. Los repertorios y formas de movilización se basan en la producción de conocimiento y soluciones técnicas asociados al llamado a modificar o crear políticas de soporte. Crean espacios donde aprender a usar y a crear tecnologías y formas alternativas de conocimiento es central, haciendo uso de formas no propietarias de innovación y bienes comunes (licencias abiertas, materiales educativos abiertos, etc.).

Los movimientos de innovación de base pueden verse como iniciadores o puntas de lanza de un cambio, pero para hacerlo requieren de conexiones con instituciones que puedan colaborar en forma de asistencia técnica, financiamiento o apoyo, pero también legitimidad, desarrollo de políticas y estructuras regulatorias de soporte (Ely et al. 2013). El carácter político de los MIB se ve también en su actividad reflexiva acerca de las necesidades tecnológicas de la sociedad, la dirección del cambio técnico, o el acceso a la tecnología.

Las categorías analíticas que se proponen para estudiar los movimientos de innovación de base son el contexto, los marcos de pensamiento, los espacios y estrategias y las trayectorias alternativas. Asociado al concepto de entorno socio-técnico de la MLP, analizar el **contexto** económico, político y cultural en que surgen los MIB con perspectiva histórica brinda información útil sobre sus particularidades y funcionamiento. En particular, se presta especial atención a factores externos que pueden estabilizar o desestabilizar al régimen, la presencia de redes internacionales o transnacionales en casos donde no se cuenta con apoyo a nivel local, y la influencia de instituciones de financiamiento internacional (Banco Mundial, UN, etc). Los MIB interactúan con el contexto de tres maneras principales: a) problematizando la dirección dominante que el contexto viene a desestabilizar, b) aprovechando ventanas de oportunidad, c) viéndose afectados en sus actividades por cambios traídos por el contexto.

La dimensión de **marcos conceptuales** proviene de la literatura de movimientos sociales: son *procesos de significación que permiten a los movimientos identificar y organizar su experiencia de maneras que los ayudan a conectar con narrativas más poderosas* (Snow et al. 1986). Orientan hacia la acción, inspiran y legitiman las actividades y campañas de un movimiento social (Benford y Snow 2000), generando vínculos, una identidad y un concepto del «otro» (Tarrow 2004). Esto los vuelve clave para influenciar la forma en que se entiende una situación o contexto y las

acciones que se tomarán. El carácter socialmente construido de los marcos permite entender cómo ideas y significados evolucionan y se desarrollan como parte de los procesos de aprendizaje que se dan en los movimientos sociales. No se limitan a conceptos técnicos, incluyen un set más complejo de aspectos sociales, económicos y políticos, combinando aspectos cognitivos, simbólicos, organizacionales y de poder.

El concepto de marcos de pensamiento resulta útil para entender las motivaciones que dan origen a los MIB, cómo éstos problematizan la figura del régimen dominante y cuáles son las visiones y objetivos que promueven. Además, permite entender las orientaciones discursivas e interpretativas de los diferentes movimientos en su contexto. Si existen actores variados los framings serán diversos y generarán tensiones y debate acerca de las prioridades y relaciones entre ellos. Este aspecto «negativo» se ve balanceado por una mayor flexibilidad ante el vínculo con la institucionalidad, elemento clave de los nichos exitosos (Smith 2006).

Ligado a la idea de nichos de innovación, el análisis de los **espacios** protegidos donde se desarrollan las actividades de los MIB incluye aquellos espacios donde las normas y expectativas son diferentes, más flexibles que en el régimen. Permite comprender cómo los actores se abren paso para desarrollar sus actividades y cómo a su vez los espacios influyen el proceso de creación de tecnología y conocimiento. Pueden ser espacios físicos (talleres, campos, edificios, fábricas, barrios), sociales (grupos, redes, actividades que dan soporte), institucionales (universidades, partidos políticos, sindicatos, asociaciones, consumidores de nicho), o cognitivos.

Las **estrategias** son aquellas instancias que los actores ponen en juego para abrir los espacios. En este sentido las dimensiones más relevantes son las redes e intermediarios, la movilización de recursos (McCarthy y Zald 1977) y los repertorios de acción (Tilly 2008). La habilidad de generar conexiones y **redes de intermediarios** es crucial para abrir espacios: comunicar, coordinar, representar y compartir las actividades de los movimientos de innovación de base permite ocupar lugares. Las redes sirven como plataforma de comunicación y política ya sea local o transnacional para compartir ideas, recursos, demandas y actividades (Smith et al 2017). Por otro lado los intermediarios son clave para compartir lecciones que ya fueron probadas en otros MIB (Hargreaves et al. 2013) tanto técnicas como de aspectos organizativos, políticos e institucionales. Los **repertorios de acción** son las formas de organización y activismo desarrolladas por los movimientos para utilizar y ganar acceso a los espacios y desafiar a los oponentes. Su desarrollo requiere de conocimientos, habilidades y capacidades que dentro de los MIB se traduce en actividades de prototipado, publicitado de diseños, discusión para la inclusión, campañas de fundraising y protestas contra la exclusión de la discusión oficial de ciencia y tecnología, entre otras. Finalmente, los MIB deben contar con

una o varias estrategias de **movilización de recursos** tanto de tipo material -dinero, bienes y servicios- como de liderazgo, confianza, habilidades, cultura compartida, valores y solidaridad (Oberschall 1973) que permitan desarrollar las actividades.

El concepto de **trayectorias alternativas** fue desarrollado por el STEPS Centre (Leach, Scoones, y Stirling 2010) y en este caso permite entender cómo contribuyen los MIB a la construcción de vías alternativas de desarrollo a lo largo del tiempo. El concepto básico detrás de las trayectorias alternativas es que ante cualquier situación o problema planteado en términos de cambio social nunca existe una sola posible solución, si no que es beneficioso y necesario abrir el panorama a construir vías alternativas, existentes o imaginadas a futuro. Hace énfasis en reconocer la diversidad y la diferencia como base para un desarrollo sostenible ambiental y socialmente justo, y en entender las asimetrías de poder detrás del peso que estas diferentes opciones parecen tener «naturalmente».

En el contexto de los MIB, la dimensión de trayectorias alternativas implica volver a una posición ontológica de observador externo para analizar las consecuencias de la acción de los MIB. Una de las dimensiones del análisis es la interacción entre marcos de pensamiento y el peso que cada uno tiene, y cómo esta influencia cambia frente a la interacción con las instituciones. Qué ideas ganan y qué ideas pierden poder, qué tipo de relaciones se forjan entre los MIB y la institucionalidad, y qué consecuencias esto trae para el movimiento. Más allá de las narrativas, implica también analizar qué consecuencias materiales esto trae para los actores en términos de acceso a la tecnología, cambio en las estrategias de participación, diseños y prácticas.

En el caso de GOSH, la propuesta de la literatura de movimientos de innovación de base suma al análisis en clave política de cómo los actores aprovechan los cambios en el contexto, qué ideas informan la acción colectiva y cómo abren y organizan espacios para las actividades de prototipado, entre otras. La idea de trayectorias alternativas resulta particularmente útil en este momento donde GOSH se encuentra en una intersección entre el nicho marginal y la institucionalidad, en interacción con diferentes actores de la política pública. Este análisis permite especular qué consecuencias trae esto no sólo para el MIB y su configuración interna, sino para la huella de su actividad en términos de construcción de alternativas de producción de conocimiento y tecnología a largo plazo.

3.3 De la construcción de tecnologías

3.3.1 La mirada desde las usuarias

Uno de los rasgos salientes de GOSH es el rol activo que los participantes toman a la hora de crear, modificar y adaptar tecnologías. Para entender quienes son estas usuarias/desarrolladoras y cómo participan en la construcción de tecnologías, resulta útil el análisis contingente, situado de los ESCT. En esta sección se hace un recorrido por la evolución que el rol de las usuarias atraviesa en el campo de los ESCT.

El rol de las usuarias está presente en los ESCT desde los inicios, de manera más o menos explícita (Oudshoorn y Pinch 2005). En el Programa SCOT o Construcción Social de la Tecnología (Bijker 1995; Bijker y Pinch 1987), la definición de grupos sociales relevantes incluye tanto desarrolladores como usuarios. Sin embargo, no ahonda en los roles activos que éstos pueden tener en el desarrollo tecnológico, como la apropiación, reinención o «hacking», tan relevantes en tecnologías analógicas como digitales. Como respuesta a esta crítica, los autores incorporan la noción de ciertos usuarios como «agentes de cambio tecnológico» con un rol activo en los procesos de clausura o estabilización de un diseño dominante.

Desde los estudios feministas de la tecnología, el foco en las usuarias surge como crítica a una visión excesivamente situada en los desarrolladores, que escribe la historia de la tecnología como un suceso de éxitos patriarcales. En uno de los textos fundacionales, Cowan (1987) plantea que el análisis de las tecnologías debe hacerse desde las usuarias y sus redes, para entender las consecuencias no previstas a partir del uso en la vida cotidiana. Una diferencia relevante es que desde el principio esta escuela propone ver a las usuarias como sujetos activos en la configuración de las tecnologías, con agencia para negociar tanto prácticas como sentido. En esta línea, numerosos estudios de género iluminan el rol de las usuarias en la adopción tecnológica.

El abrir la caja negra del concepto «usuarias» es otro trabajo desarrollado principalmente por los estudios feministas. La diversidad existente en oposición a la concepción generalmente unidimensional desde los desarrolladores genera posiciones heterogéneas ante las tecnologías, que son relevantes al análisis. Uno de los ejes principales de análisis lo constituyen las relaciones de poder entre estas usuarias diferentes y los artefactos, las prácticas, los diseños. Qué usuarias son definidas por los desarrolladores a la hora de diseñar, y qué implicancias tiene esto para quienes podrían ser usuarias, pero no atraen la imaginación de quienes desarrollan. En definitiva, se sugiere que la distribución de poder entre los actores se aborde como una pregunta empírica (Lie y Sørensen 1996).

Sobre las definiciones de la teoría del actor-red y el concepto de simetría entre

actores humanos y no-humanos, Akrich y Latour utilizan el concepto de programa o script para explicar la agencia de los artefactos en términos de cómo habilitan a inhabilitan no sólo relaciones humanas-artefacto sino entre humanos. El origen del programa son los procesos de definición de usuarios que realizan los diseñadores a la hora de crear tecnologías, pero las usuarias pueden activamente negociar estas limitaciones inscribiendo «anti programas» (Akrich 1992).

Desde los estudios culturales, la cuestión de la tecnología siempre se abordó desde las usuarias como consumidoras, y en la apropiación que éstas hacen de las tecnologías para pensar en su funcionamiento. La mirada va más allá de lo económico, entendiendo la adopción de tecnologías como un proceso que puede reconfigurar relaciones sociales y crear identidad (Douglas y Isherwood 1979; Appadurai 1986). Las usuarias son consideradas desde un rol activo, como «expertas culturales» que apropian bienes de consumo para construir sus propias identidades desde lo simbólico.

Este breve recorrido por el rol central de las usuarias en los ESCT enmarca la pregunta de *¿Quiénes y cómo construyen tecnologías útiles en contexto en los proyectos GOSH?*. Los conceptos que se rescatan como más relevantes son la diversidad de usuarias, las relaciones de poder tanto entre usuarias como entre usuarias-artefactos y el rol activo que toman en la inscripción de significado en la tecnología, tanto de forma material como simbólica. Para construir el análisis combinamos categorías de dos escuelas que elaboran sobre este recorrido: Design Justice (Costanza-Chock 2020) y estudios de la domesticación, revisitados desde los ESCT (Hirsch y Silverstone 2003; Lie y Sørensen 1996; Sørensen 2005).

3.3.2 Diversidad y poder

La participación de actores diversos en el proceso de construcción de tecnologías es abordada y valorada por parte de los más diversos autores y corrientes que discuten el cambio tecnológico. Desde la filosofía, Feenberg (1989) señala que la salida a los determinismos tecnológicos es asumir que los desarrollos tecnológicos podrían materializar sentidos diferentes a los dominantes hoy en día, y que para ello es necesario estudiar cómo diversos actores inscriben sus propios significados en la construcción de tecnologías. Stirling (2015) propone el concepto de *innovación democrática* como el acceso por parte de los menos poderosos a las capacidades para desafiar la dirección que toma la innovación y que afecta sus vidas. En este sentido «democracia» incluye pero va más allá de las nociones formales de democracia representativa o directa, para cuestionar no sólo los productos sino el proceso mismo de la innovación y sus consecuencias. Desde el pensamiento latinoamericano,

las ideas de Arturo Escobar (Escobar 2016) sobre diseño, autonomía (en el sentido autopoietico*) y relacionalidad, problematizan la dominancia de una ontología única impresa en las tecnologías. Tomando del zapatismo la idea de «un mundo donde quepan muchos mundos», Escobar propone utilizar el campo del diseño para crear e inscribir nuevas y múltiples formas de habitar el mundo que permitan superar la crisis civilizatoria, o «diseños para el pluriverso». Su propuesta de «diseño autónomo» sugiere tomar una estrategia situada, colaborativa y participativa, que supere los dualismos de control y apropiación a partir de un abordaje relacional para la construcción de nuevas tecnologías.

Design justice[†] (DJ) es un enfoque que surge recientemente a partir de la experiencia de diseñadores que trabajan con movimientos sociales y organizaciones comunitarias, agrupados en la red «Design Justice Network»[‡]. DJ combina los aportes teóricos de Akrich y los estudios feministas de la tecnología con la práctica del co-diseño y la tradición de la investigación-acción participativa. Como resultado, su propuesta consiste en analizar cómo el diseño de la tecnología distribuye beneficios y penalidades entre diversos grupos de personas, para a partir de ese análisis construir nuevos diseños de forma participativa y poder evaluarlos (Costanza-Chock 2020). Elaborando sobre la visión del pluriverso de Escobar, DJ es además una comunidad de práctica global que busca construir diseños autónomos que distribuyan estos beneficios y penalidades de forma más equitativa en conjunto con las comunidades.

Partiendo de la premisa que la tecnología actualmente encarna principalmente valores patriarcales, racistas, coloniales y capacitistas, DJ sugiere situar el análisis desde la interseccionalidad. La idea principal de DJ es que los principios universales de la práctica del diseño, materializados en evaluaciones unidimensionales, borran grupos de personas. Y que en particular, esos grupos son aquellos que enfrentan discriminación de forma interseccional: patriarcal, racista, xenófoba, colonialista (Costanza-Chock 2020). ¿Cómo diferentes diseños reproducen o desafían esta distribución dominante? Para ello retoma conceptos básicos, ubicuos de diseño como *affordances*, *disaffordances* y *dysaffordances* para analizar qué grupos de usuarios son privilegiados por el diseño de los artefactos.

*Una máquina autopoietica es una máquina organizada como una red de procesos de producción (transformación y destrucción) de componentes que: (i) a través de sus interacciones y transformaciones continuamente regeneran y realizan la red de procesos (las relaciones) que los han producido, y (ii) la constituyen (la máquina) como una unidad concreta en el espacio en el que ellos (los componentes) existen, especificando el dominio topológico de su realización como tal de una red (Varela, Maturana, y Uribe 1974).

[†]La traducción del término al español está en debate, ver <https://twitter.com/schock/status/1324003929575796743>

[‡]<http://designjusticenetwork.org>

«*Affordance*»*, término que proviene de la psicología cognitiva, engloba las cualidades o propiedades de un objeto que definen sus posibles usos o que clarifican cómo puede o debe ser usado. El diseño de una silla permite (*affords*) sentarse, el diseño de una puerta permite entrar o salir de un espacio. Las *affordances* pueden pensarse como **affordances percibidas y disponibles**. Alguien que no está familiarizado con el idioma inglés probablemente no perciba que un software en ese idioma le permite ejecutar cierta acción; una persona con movilidad reducida percibe que una escalera le permite subir al próximo piso, pero esa *affordance* no le resulta disponible. El concepto opuesto, **disaffordances**, señala las propiedades de un artefacto que limitan o bloquean ciertos usos (por ejemplo, el uso de cerrojos o la necesidad de identificarse para utilizar ciertas funciones). Finalmente, las **dysaffordances** requieren que la usuaria trastoque su identidad para poder acceder, como en el caso de algoritmos que sólo detectan personas de piel blanca, o personas trans frente a sistemas binarios de identificación.

DJ señala que no existe un diseño universal que disminuya la carga cognitiva (el esfuerzo) que todos los usuarios posibles tienen que realizar para poder usar un artefacto, ya que un diseño siempre va a privilegiar a ciertos grupos sobre otros. Por lo tanto, el objetivo del análisis es hacer explícita esa distribución de privilegios o *affordances*. DJ plantea que para crear diseños que distribuyan equitativamente los privilegios es necesario que el proceso de diseño sea participativo, y que la comunidad posea el control tanto del proceso como de sus resultados. Una de las propuestas interesantes de DJ es el análisis de cómo los **espacios** donde se desarrolla el proceso de diseño influyen en quiénes participan. Propone, también, analizar cómo la participación de los distintos usuarios cambia a lo largo de las etapas de diseño.

El análisis interseccional y de grados de participación por etapas que propone DJ resulta útil para comprender cómo cambia la distribución de privilegios con la creación de herramientas abiertas; cuáles son las modificaciones y los distintos grados de participación de los usuarios que implementan los proyectos GOSH en determinado contexto. Además provee una herramienta para analizar críticamente estos nuevos diseños, cuestionando la nueva distribución de privilegios que surge de los mismos.

3.3.3 Domesticando tecnologías: los trabajos de la (re)inscripción

La sección anterior define el punto de llegada y los actores: los diseños «justos», o artefactos que permiten una distribución de *affordances* más equitativa en una configuración determinada de usuarios. La pregunta inmediata es ¿Cómo

*El término se utiliza sin traducción incluso en textos de diseño en español

se desarrollan procesos activos desde los usuarios que tienen como resultado la creación y adopción de tecnologías o diseños «justos»?

Los estudios de domesticación de la tecnología surgieron a fines de los años '80 en el campo de los estudios culturales (Hirsch y Silverstone 2003), para analizar cómo las personas incorporan una determinada tecnología a la vida cotidiana, en el ámbito del hogar. Una de las innovaciones del enfoque era el trabajo tanto sobre aspectos materiales como de sentido, y el conceptualizar a los usuarios con un rol activo en la adopción de tecnología. Los límites entre público y privado, productor y consumidor se vuelven fluidos, con el foco puesto en la coproducción de lo social y lo técnico.

Algunos autores dentro de los ESCT comenzaron a utilizar los conceptos de la domesticación para analizar la adopción de artefactos específicos, observando el espacio de negociación entre la perspectiva de los diseñadores y de los usuarios. Esto dio origen a una escuela de la domesticación que expande el ámbito de estudio a otros ámbitos de la vida cotidiana, más allá del hogar. Según Sørensen (2005) «*el proceso de domesticación de los artefactos puede entenderse como el movimiento complejo de objetos hacia y dentro de configuraciones sociotécnicas existentes*». Retomando categorías de la teoría del actor-red, propone que la domesticación puede entenderse como el proceso por el cual la lectura, interpretación y acción por parte de los usuarios traduce o re-inscribe un programa diferente en un artefacto.

Una de las consecuencias de esta derivación es que en esta nueva escuela la domesticación se observa en la interacción entre múltiples sitios, incluyendo instituciones y discursos colectivos tanto como condiciones individuales. En cada sitio, el análisis parte de observar los trabajos que las usuarias realizan a fin de adoptar o no tecnologías a la vida cotidiana: las **prácticas de uso** de los artefactos, las consecuentes **interpretaciones simbólicas o de sentido**, y los **aprendizajes** necesarios (Ask y Sørensen 2019; Sørensen, Aune, y Hatling 2000). De esta forma se iluminan los procesos activos que las usuarias emprenden en el camino de la domesticación.

Este enfoque desde los usuarios con un rol activo de reconfiguración y el abordaje semántico permiten que el análisis de domesticación complemente el de DJ, que le aporta una dimensión política. Identificar los trabajos que los usuarios/desarrolladores en proyectos GOSH realizan en tanto construir significado, adoptar nuevas rutinas de uso y desarrollar procesos de aprendizaje es útil para entender **cómo se inscriben** estos nuevos significados en contexto.

3.4 De la capacidad de producir conocimiento científico útil

Como se mencionó en la introducción, la última pregunta de investigación refiere a la capacidad de los integrantes de proyectos GOSH de participar en la producción de conocimiento científico. Uno de los principales argumentos del colectivo es que a través del acceso a las herramientas para producir conocimiento, se abre la posibilidad de colocar nuevos temas en agenda, más cercanos a los intereses de las comunidades, «herramientas de impacto»:

- *Las tecnologías [abiertas] son adaptables y por lo tanto pueden afrontar directamente las necesidades locales, sociales y técnicas*
- *To pursue research based on the needs of their communities.*
- *We make spaces for science beyond established institutions (e.g. academia and NGOs) so there are more options for research trajectories.*
- *Open science hardware puts local knowledge in action and contributes to cognitive justice.*
- *Open science hardware allows a diversity of values and voices to ask research questions and to make technology.*
- *There is a direct link between what a community of users needs and science hardware because the community of users can access, change, adapt, and use the tools.*
- *With GOSH Indigenous/Non-scientist peoples can make research in their native language and adapted to their local context.*
- *Open science hardware decreases the divide between the global north and south, professionals and amateurs, particularly in low incomes countries.*

GOSH propone que las herramientas que produce contribuyen a que se produzca conocimiento que responda a las necesidades sociales en un contexto determinado. En la próxima sección, se presenta en primer lugar la literatura sobre producción de conocimiento socialmente útil, y su llamado a democratizar los procesos de producción de conocimiento. En segundo lugar se hace un recorrido sintético sobre la evolución de las corrientes y prácticas participativas en ciencia y tecnología, haciendo foco en la «ciencia ciudadana» y los intentos por influir en la agenda científica. Identificados los obstáculos que separan academia de impacto social y las estrategias de participación, utilizamos el enfoque normativo de desarrollo humano para evaluar en qué medida los proyectos GOSH construyen capacidades que acercan la producción de conocimiento a las necesidades de las comunidades que los contienen.

3.4.1 Producción de conocimiento socialmente útil

La producción de conocimiento científico se asocia y justifica frecuentemente desde su capacidad de contribuir al avance de objetivos sociales. Gibbons (1994) señala como el concepto de «frontera interminable» de la ciencia es reemplazado en la actualidad por una nueva forma de producir conocimiento o «Modo 2»: producción de conocimiento cercana al contexto de aplicación, cada vez más transdisciplinaria, en nuevos sitios dentro y fuera de la academia, y más atenta al impacto social que produce su desarrollo.

Es paradójico y ampliamente aceptado que, sin embargo, gran parte del conocimiento científico producido en la actualidad no contribuye a la solución de los problemas sociales. Quizás el ejemplo más paradigmático esté en la distancia entre los objetos de estudio de la biotecnología en relación a las enfermedades prevalentes a nivel global (Sarewitz y Pielke 2007), aunque se encuentran ejemplos también en agricultura y sustentabilidad (Ciarli y Ràfols 2019).

Algunos autores articulan esta distancia en términos de que producir investigación sobre un problema relevante no implica necesariamente comprender de qué forma el conocimiento producido puede ser útil para abordar el problema (Sarewitz y Pielke 2007; Bozeman y Sarewitz 2005). Ciarli y Ràfols (2019) señalan que esta distancia entre agenda científica y utilidad del conocimiento producido puede ser explicada por múltiples razones: aislamiento en la construcción del problema de conocimiento por parte de la comunidad científica, asimetría de recursos que permite a actores de mayor poder pujar por agendas que favorezcan sus intereses, la presencia de organizaciones y colaboraciones internacionales que influyen en la investigación local, dinámicas económicas que favorecen la dirección de la investigación en rumbos incrementales, y la mínima influencia de la mayor parte de la población sobre la agenda científica.

Esta distancia entre agenda y problemas sociales afecta principalmente a los países periféricos. Dentro de los ESCT y el pensamiento latinoamericano en particular, diversas voces en las últimas décadas cuestionan la simplicidad de los abordajes lineales que adjudican una utilidad «evidente» a la producción de conocimiento científico. Algunos lo hacen desde miradas desde la construcción de sentido (Alonso y Naidorf 2019; Bello 2015; Vaccarezza y Zabala 2002), mientras que otros aportes son de mirada estructural (Kreimer 2006; Vessuri, Guédon, y Cetto 2014).

Uno de los fenómenos más estudiados al respecto es la «internacionalización» o valoración preferencial de los productos de la producción de conocimiento científico

que se publican en revistas «internacionales» de alto impacto, que aunque la digitalización remueva de los territorios, son en su mayoría publicadas en países centrales (Vessuri 2004). Para poder publicar en estas revistas, las élites científicas de las periferias necesariamente deben dialogar con las agendas que estas publicaciones consideran relevantes. Aún así, la «obsesión con la internacionalización» de las políticas de evaluación de investigadores no se refleja en la participación regional en publicaciones, que en 2002 para Latinoamérica fue del 3% (Vessuri 2004). Sin embargo lo que sí se observa es el aumento de la participación de investigadores de la periferia en megaproyectos de consorcio, originados en países centrales. Desde Latinoamérica, Kreimer (2006) toca estos temas poniendo el foco en los actores científicos más relevantes o élites científicas de la periferia. Dado el esquema de incentivos propenso a la internacionalización, éstos son aquellos que publican en la escena internacional conocimiento «de excelencia» y «aplicado». En su mayoría se trata de investigadores que se formaron durante un período en las instituciones centrales y vuelven a sus países de origen a constituir unidades de investigación, manteniendo lazos de colaboración o «integración». Kreimer argumenta que esta integración es subordinada, ya que implica una división del trabajo en la cual las élites periféricas desarrollan las actividades técnicas, «de campo», definidas por problemas, teorías y metodologías establecidas y estabilizadas por el grupo coordinador de la colaboración (que suele estar localizado en los países centrales). Este modus operandi deja a los científicos locales con escaso margen de negociación sobre la orientación y los contenidos de las investigaciones que son el objeto de las colaboraciones. Por otro lado, el autor problematiza el proceso de traducción de los problemas sociales en problemas de conocimiento, señalando que se hace de manera aislada y no es evaluado post-facto, y conduce a la producción de conocimiento aplicable no aplicado (Kreimer y Zabala 2006).

En esta última línea, Spaapen y Drooge (2011) proponen evaluar la utilidad del conocimiento a través del concepto de **interacciones productivas**, entendido como los intercambios entre investigadores y actores relevantes (otros investigadores, industria, organizaciones civiles, público general, gobiernos) en los cuales se produce y valora conocimiento que es tanto científicamente robusto como socialmente relevante. La interacción es productiva cuando implica un esfuerzo por parte de los actores en aplicar o usar los resultados de la investigación. Para esto, argumentan que el conocimiento útil tiene que cruzar los límites de las disciplinas y dominios del expertise, y que es imprescindible que la evaluación del conocimiento producido involucre a los «usuarios» de este conocimiento. Las interacciones pueden ser **directas** si son personales, **indirectas** si se concretan a través de artefactos, textos u otros medios, y financieras si implican un intercambio económico. Además, pueden ocurrir en función de instancias **coordinadas** con actores específicos, o ser el resultado de encuentros **casuales**.

3.4. DE LA CAPACIDAD DE PRODUCIR CONOCIMIENTO CIENTÍFICO ÚTIL

Son numerosos los autores que señalan que la capacidad del conocimiento científico de ser útil responde principalmente a factores por fuera de la ciencia y en particular a la existencia de interacciones entre actores diferentes (Sarewitz y Pielke 2007; Spaapen y Drooge 2011). (Nowotny 2003) observan una relación entre la producción de conocimiento «fuertemente contextualizado» y el **conocimiento socialmente robusto**, entendido como aquel que es validado por actores relevantes. Los autores definen «fuertemente contextualizado» como la situación donde los investigadores tienen la oportunidad de, y están dispuestos a, responder a señales de la sociedad. Sarewitz y Pielke (2007) plantea que la investigación básica que es insumo de innovaciones significativas ocurre en institutos y universidades donde los científicos tienen autonomía para producir conocimiento «no aplicado», pero las prioridades y la dirección del trabajo están altamente influenciadas por la colaboración con otros científicos, ingenieros y administradores que conocen de primera mano la producción y la aplicación.

La «utilidad» del conocimiento científico, entonces, es función de su contexto (Sarewitz y Pielke 2007) en lugar de inmanente al conocimiento producido. Desde los ESCT autores como Jasanoff (2003) llaman la atención sobre «el idioma de la co-producción» que subyace todas las formas en las que conocemos y representamos el mundo, incluido el conocimiento científico. La coproducción en ciencia implica que la relación entre quienes producen y quienes usan conocimiento es dinámica y altamente condicionada por su contexto.

Pensar el conocimiento científico y la innovación en términos de coproducción representa un cambio sustancial en la forma de pensar la ciencia y tecnología respecto de décadas anteriores. Schot y Steinmueller (2016) definen tres paradigmas principales de innovación a partir de la segunda guerra mundial. El primer paradigma que dominó la escena concibe la ciencia y la innovación en términos separados y por lo tanto en esferas público/privadas diferentes. Se trata de un modelo lineal que piensa el conocimiento científico como la base del incremento de la productividad industrial para el consumo de masas. Dadas las particularidades económicas del conocimiento científico, el rol de los estados consiste en invertir en las primeras etapas de investigación que luego «derivan» en innovaciones. Se asume que el conocimiento producido es «apropiable» y que esto se puede observar en el aumento del registro de propiedad intelectual, secreto comercial y ventajas competitivas. En los años '80, a partir de la observación de los resultados del primer modelo se hicieron evidentes algunas características tácitas de este paradigma: la capacidad de innovar es diferencial a nivel internacional; la innovación disruptiva convive con innovaciones incrementales que muchas veces bloquean la emergencia de nuevas tecnologías; la innovación tiene frecuentemente origen en los usuarios o a través de contactos con la investigación aplicada, actividades de desarrollo y

comercialización. Esto derivó en el concepto distinto pero no radicalmente diferente de sistemas nacionales de innovación. Aquí el rol de los estados es encontrar la configuración óptima que lleve al máximo de productividad, con un fuerte énfasis en la capacidad de aprendizaje de las organizaciones e instituciones a nivel país.

El concepto de conocimiento socialmente útil resulta relevante para comprender de qué forma los proyectos GOSH, todos en la periferia global, construyen conocimiento útil en sus contextos. En los casos académicos interesa conocer si el uso de herramientas abiertas reproduce agendas impuestas desde el centro o si en cambio proponen las propias; si la definición del problema de conocimiento se hace de forma aislada o si existen interacciones productivas; si hay una ampliación de la base que permite instancias de diálogo entre actores relevantes.

3.4.2 Participación en ciencia

El estudio de la participación en ciencia y tecnología surge con fuerza en la etapa de la posguerra, durante las décadas de 1970 y 1980; los análisis tratan mayoritariamente sobre la inclusión de «legos», «no-expertos» o «ciudadanos» en la producción de conocimiento científico (Lengwiler 2008). Bajo la etiqueta de «ciencia participativa» se engloban actividades que van desde la participación de ciudadanos en instancias regulatorias hasta la coproducción de conocimiento en proyectos de investigación (Frickel y Moore 2006)

Frickel y Moore (2006) compara tres grandes tipos de proyectos de ciencia participativa de acuerdo a qué grupo las inicia: activistas, profesionales o amateurs. En el caso de la **ciencia participativa iniciada por activistas**, se trata de colectivos con una motivación concreta de generar información sobre una problemática que los afecta, y que busca el apoyo de científicos que colaboran en términos de recolección y análisis, además de aportar legitimidad. Moore argumenta que su fortaleza está en la disputa de una de las bases de la autoridad científica: el argumento de que la ciencia es útil para todos. Exponiendo cómo algunos grupos se benefician de ella más que otros, además muestra que el expertise especializado de los científicos, aislado, no alcanza para dar respuestas a ciertas preguntas. La **ciencia participativa iniciada por profesionales** es aquella que incluye a las comunidades a través de las diferentes etapas del método científico; Moore señala que el riesgo de estas iniciativas está en reproducir asimetrías de poder que producen desconfianza en las comunidades, colocándolas en un rol de legitimación o «consentimiento informado». La **ciencia participativa iniciada por amateurs** que Moore llama «vocacional» es aquella donde el conocimiento científico es producido por personas que no trabajan como científicos, ni tienen la

3.4. DE LA CAPACIDAD DE PRODUCIR CONOCIMIENTO CIENTÍFICO ÚTIL

motivación de producir conocimiento sobre un factor amenazante para sus vidas. El grado en que este tipo de iniciativas, a veces denominadas «ciencia ciudadana», disputa la autoridad científica varía de acuerdo a sus objetivos y sus métodos. Al no estar limitados por requisitos institucionales, formativos o de financiamiento, los amateurs son más libres de explorar ideas alternativas y desarrollar lazos de afectividad con sus objetos de estudio. Moore señala cómo esto los vuelve herramientas clave en la producción de conocimiento socialmente útil.

Haklay (2013) hace una crítica a uno de los ejes principales de análisis en los proyectos de ciencia participativa: el grado de participación de los no-expertos en las iniciativas, adoptando una perspectiva normativa para evaluar grados de participación efectiva. Son comunes los estudios que plantean escalas de participación, como Kleinman (2000) y su categorización en un continuo que abarca desde casos donde no existe participación a aquellos donde los que participan pueden determinar el rumbo de la investigación. Otro eje de análisis frecuente es el análisis por disciplina, que asocia grados de participación a campos del conocimiento. Esto permite observar por ejemplo que la participación suele ser mayor en medicina o ciencias ambientales, y menor en las ingenierías.

Más allá de categorías de participación, dentro del campo de la ciencia ciudadana Ottinger (2010) señala que la capacidad influir en la agenda está relacionada principalmente a la existencia de una **interfaz entre el expertise comunitario y el expertise formal**. Kimura y Kinchy (2016) hacen una revisión de las «virtudes» de la ciencia ciudadana, y señalan que algunos proyectos son transformadores para las comunidades afectadas sin necesariamente ser altamente participativos. En su revisión de la literatura, Strasser et al. (2018) plantean que es necesario dejar de asumir que «cualquiera quiere participar».

Estos aportes resultan útiles para enmarcar las actividades que desarrollan principalmente los casos comunitarios GOSH en estudio. Algunas preguntas en este sentido son ¿De qué forma interactúan el expertise comunitario y científico formal en los proyectos GOSH? ¿Existen roles de «traducción»? ¿Cuáles son las virtudes que priorizan los proyectos? Retomando la visión relacional de la participación, ¿Cómo participan estas comunidades de la construcción del problema de conocimiento? ¿Existen instancias de reflexión sobre la propia práctica? ¿Se hacen explícitas las presunciones detrás de la construcción de artefactos? ¿Existen instancias de reflexión sobre potenciales problemas o consecuencias del uso de las tecnologías? ¿Se discute dentro de los proyectos el marco global del movimiento?

3.4.3 El foco en las capacidades

El enfoque de desarrollo humano fue popularizado a partir de los trabajos de Sen (1999) y Nussbaum (2011), especialmente a partir de su adopción por parte de organismos como el PNUD. El concepto más fuerte del enfoque son las **capacidades**, entendidas como las oportunidades reales con las que cuentan las personas para perseguir los objetivos que les interesan; y las distingue de los **funcionamientos**, o el ejercicio de las capacidades disponibles. Las capacidades pueden ser materiales o no, cómo la capacidad de vivir una vida sana (y el funcionamiento, entre otros, de acceder al sistema de salud) o la capacidad de practicar su religión libremente (y el funcionamiento de reunirse con su comunidad en un ambiente seguro). Una persona puede tener capacidades para realizar múltiples acciones, pero pone en funcionamiento las que le interesan.

La autodeterminación es un rasgo de peso en el enfoque, que lo cristaliza en el concepto de agencia. Por **agencia** se entiende la habilidad de las personas para modelar sus propias vidas en función de los fines que desean (Boni y Walker 2016). Las capacidades representan libertad de oportunidades, la agencia libertad en el proceso. A través de la agencia, el enfoque conecta lo individual con lo colectivo: es la agencia la que permite a las personas luchar por generar cambios hacia un contexto que consideran más justo.

Aunque popularizado a partir de grandes estudios a escala de país, varios análisis empíricos han utilizado el enfoque de desarrollo humano para comprender cómo iniciativas de cambio social (o movimientos de innovación de base) contribuyen a la construcción de capacidades en los participantes. En particular resulta interesante el análisis de capacidades en proyectos de innovación social (Pellicer-Sifres et al. 2017; Tiwari 2017), en espacios comunitarios de fabricación (O'Donovan y Smith 2020). El enfoque en estos casos es exploratorio, con la intención de identificar el «set» de capacidades y evaluar los funcionamientos, la agencia y los procesos que las habilitan, a partir de lo que los participantes esperan obtener con su participación.

El foco en las capacidades brinda una herramienta normativa con la cual comparar por un lado, las expectativas de los participantes, aquellas capacidades declaradas en el manifiesto GOSH, y las capacidades que se consideran logradas o no por ellos mismos, siguiendo el principio de agencia. También permite conectar funcionamientos de la práctica con capacidades de mayor alcance, como la capacidad de influir en la agenda de conocimiento científico.

3.5 Resumen del capítulo

El capítulo presentó las bases teóricas que informan el análisis de GOSH a nivel de colectivo, de proyecto y de integrantes. El primer componente acarrea la mayor escala de observación tanto geográfica como temporal, bajo la lógica de las transiciones sociotécnicas a través del lente político de los movimientos de innovación de base. Esto permite enmarcar la primera pregunta de «¿Cómo se construye este nicho de innovación?» a través del análisis del **contexto**, los **marcos de pensamiento**, los **espacios** y las **estrategias** puestas en acción por los participantes. Pero también permite prestar atención a su evolución en el tiempo, tanto en la interacción entre nicho, régimen y entorno como al interior de las relaciones de poder dentro del nicho, y en particular en relación a elementos institucionales del régimen, para entender de qué forma se construyen **trayectorias alternativas**.

La segunda sección observa a nivel de proyecto, y pone el foco en la construcción dentro de estos grupos de (nuevos) sentidos a través de los artefactos y sus relaciones. La pregunta de quiénes y cómo participan en la fabricación de artefactos en proyectos GOSH es enmarcada en la literatura de Design Justice, que permite ver cómo los diseños de los nuevos artefactos redistribuyen poder a partir de su configuración de **affordances**, **disaffordances** y **dysaffordances** y cómo varían de acuerdo al **análisis interseccional** de las usuarias. Desde el mismo lugar de análisis, el estudio de la domesticación de los artefactos ilumina los trabajos **cognitivos**, **prácticos** y **simbólicos** que realizan las diferentes usuarias/desarrolladoras en relación, a fin de re-inscribir sus propios significados y valores en los nuevos artefactos.

Manteniendo la escala de observación, la tercera sección aborda la pregunta de cómo estos nuevos artefactos y prácticas de los proyectos GOSH permiten (o no) a los actores perseguir sus propias agendas de producción de conocimiento. El enfoque de desarrollo humano se utiliza para evaluar qué **funcionamientos** habilitan la construcción de **capacidades** en proyectos GOSH que puedan conducir a la producción de conocimiento útil, en las diferentes modalidades de ciencia participativa que se presentan en los casos. Estas dos literaturas dirigen la atención a la incorporación de **nuevos actores** y sus características demográficas, la existencia de **interacciones productivas** durante los procesos de construcción de los problemas de conocimiento. La literatura de ciencia participativa y en particular ciencia ciudadana llama a observar si los procesos son **iniciados por activistas**, **profesionales o amateurs**, la existencia de **procesos de traducción** entre conocimiento formal y no codificado, y el grado de **división del trabajo** entre científicos y no científicos.

Este capítulo presentó las bases teóricas que informan el análisis de los proyectos

GOSH, a partir de las preguntas de investigación planteadas. En su revisión de la literatura y consulta a expertos sobre las teorías más utilizadas para analizar el cambio sociotécnico, Sovacool y Hess (2017) identifican aquellas basadas en agencia, sentido, estructura y por último las relacionales, que integran las tres perspectivas; entre ellas está la teoría de transiciones. Para esta tesis, transiciones resulta útil si se combina con otras perspectivas que aporten el ángulo normativo; en definitiva se trata del cambio hacia tecnologías en sentido amplio, más «justas». El enfoque en desarrollo humano, la mirada desde los estudios feministas de la tecnología y la literatura de movimientos sociales aportan en este sentido. En los próximos capítulos se presentan los resultados del análisis de GOSH a escala de colectivo, proyectos y usuarias a través de las categorías presentadas.

Capítulo 4

Diseño de la investigación

4.1 Introducción al capítulo

El capítulo 2 presentó la revisión de la literatura mostrando que no existe un vacío de conocimiento sobre cómo los proyectos de hardware científico abierto contribuyen a democratizar la producción de conocimiento en el sur global. Presentadas las bases teóricas que enmarcan las preguntas de investigación en el capítulo 3, este capítulo muestra el diseño de investigación elegido: comienza por describir el posicionamiento filosófico del estudio, continúa con las estrategias de investigación y finaliza con las técnicas de investigación utilizadas para recolectar, analizar y garantizar la validez y consistencia de los argumentos esgrimidos.

4.2 Postura epistemológica

Como se describe en el primer capítulo de este trabajo, la principal pregunta de investigación es: *¿De qué forma las prácticas de HCA en el sur global contribuyen a la democratización de la producción de conocimiento?*, y se descompone a su vez en tres preguntas específicas:

- P1: ¿De qué manera GOSH se constituye como un nicho estratégico de innovación?
- P2: ¿Cómo los proyectos GOSH promueven la participación de actores nuevos y más diversos en la producción de tecnología «útil»?
- P3: ¿En qué medida y cómo los participantes en los proyectos GOSH construyen capacidades?

Este trabajo aborda estas preguntas desde el relativismo y el construccionismo, paradigmas predominantes en los ECST. Creswell (2009) define el posicionamiento filosófico o *worldview* como el set de creencias que guían la acción, también llamado paradigma (Lincoln, Lynham, y Guba 2018), o epistemologías y ontologías (Crotty 1998).

La ontología relativista asume que lo que llamamos «la realidad» es una construcción humana influenciada por el contexto social y cultural de quien la enuncia; situaciones y lugares diferentes dan lugar a interpretaciones distintas del mismo fenómeno (Crotty 1998). Esto resulta relevante al estudio de la tecnología y los artefactos, que desde una posición ontológica realista suelen asumirse como universalmente válidos y autónomos de su contexto. Una postura relativista por el contrario permite observar que diferentes actores insertos en múltiples configuraciones sociales y culturales posibles otorgan diferentes interpretaciones a la misma tecnología.

Sobre esta visión, la epistemología constructivista asume que el objetivo de la investigación es mirar a estas múltiples interpretaciones que los sujetos hacen desde su contexto, buscando comprender la complejidad de estas miradas más que reducir su significado a un set de ideas o categorías. En el estudio social de tecnologías, la postura constructivista permite conceptualizarlas como un proceso contingente resultado de las interacciones entre actores, prácticas, artefactos y regulaciones. Es importante resaltar que en esta investigación se considera que no solo los actores humanos construyen sentido, sino que los artefactos también poseen agencia.

Posicionarse desde el constructivismo plantea ventajas para el análisis. Por un lado permite observar la construcción social de tecnologías *in the making*, en una doble vía: como resultado de las relaciones contingentes entre los múltiples elementos de la configuración sociotécnica; y como intervención en la misma configuración. Esto habilita a superar la dicotomía determinista de «lo social» o «lo técnico» o relativismo versus realismo en el estudio de tecnologías; el análisis asume que se configuran mutuamente y que la función del analista es precisamente iluminar los mecanismos de mutua configuración. Es necesario mencionar en este punto que trabajar el tema de democratización implica necesariamente tomar un ángulo normativo, que en este caso esta investigación refuerza al incluir literaturas feministas y el enfoque de desarrollo humano desde el marco teórico.

La mirada constructivista asume que la posición del investigador también es situada, y por ende debe hacerse explícita; su objetivo es poder analizar las múltiples interpretaciones disponibles en contexto. Personalmente, participo desde 2017 del movimiento GOSH tanto a nivel global como latinoamericano, y formo parte de

proyectos que utilizan hardware científico abierto para monitoreos ambientales. Al mismo tiempo, mi militancia en organizaciones por el software libre y el conocimiento libre en general me llevan a tomar este trabajo como una arena de experimentación de las prácticas de apertura, aplicadas a una tesis doctoral en contextos de recursos escasos.

A fin de profundizar en el abordaje, se puede pensar este trabajo como enmarcado en lo que Sismondo (2008) denomina *engaged STS*. Se trata de aquellos trabajos dentro de los Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología que pretenden contribuir tanto a las perspectivas teóricas generales, como obtener resultados de valor político o práctico para promover la participación en ciencia y la tecnología. Por otro lado, la lectura sobre experiencias como la del Colectivo Situaciones en Argentina (Situaciones 2003) contribuyeron también a conceptualizar los aportes; en particular la actitud de «estar disponible» como investigadora. Tuve la suerte de acompañar el desarrollo de GOSH casi desde su surgimiento, intentando en la medida de lo posible abrir y facilitar instancias de reflexión, proponer medios de expresión de ideas (como la escritura colaborativa de la historia de GOSH), y circular los productos de esta reflexión tanto hacia adentro como fuera del movimiento.

4.3 Estrategia de investigación

La naturaleza de la pregunta de investigación, orientada a comprender mecanismos, la escasa literatura disponible y lo reciente del fenómeno en estudio hacen que este sea un trabajo de tipo exploratorio. En este tipo de situaciones resultan útiles las estrategias cualitativas (Creswell 2009), ya que permiten explorar, por ejemplo, de qué forma los participantes del movimiento global y de los proyectos construyen sus prácticas y narrativas, aportando detalles sobre el contexto en el que emergen estos discursos y actividades.

4.3.1 Estudio del movimiento GOSH

A fin de dar respuesta a la primera pregunta de investigación se utilizaron tres técnicas de recolección de datos que incluyen la observación participante, el análisis de documentación y la realización de entrevistas a informantes clave.

4.3.1.1 Recolección de datos

Desde mediados de 2017 y durante 2018 se desarrolló una fase exploratoria donde se analizó documentación pública de cada uno de los eventos globales, publicaciones y estadísticas del foro comunitario y se mantuvieron conversaciones informales con miembros del movimiento. Esto permitió identificar trece actores clave en el rol de organizadores, fundadores y participantes activos de la comunidad.

Durante 2019 e inicios de 2020 se realizaron 13 **entrevistas semiestructuradas** con la totalidad de informantes clave identificados, a través de videollamada salvo dos oportunidades donde se hicieron personalmente. Los entrevistados ocupan diferentes roles dentro del movimiento: se trata de la totalidad de los co-fundadores, los organizadores de todos los eventos realizados hasta el momento y participantes activos mencionados sistemáticamente por los roles mencionados anteriormente. En todos los casos las entrevistas contaron con una sección guiada cronológicamente, ya que uno de los productos acordados con la comunidad fue la escritura de la historia del movimiento; el cuestionario puede encontrarse en el anexo 1. Estas entrevistas fueron realizadas en inglés y en español, grabadas y transcritas para su incorporación al corpus de análisis, previa obtención de consentimiento escrito por parte de los entrevistados vía correo electrónico.

La **observación participante** se realizó en los eventos globales de la red en 2017 (Chile) como asistente, en 2018 (China) como co-organizadora y en un evento satélite (Reino Unido) en 2019, nuevamente como asistente. Dadas las características de auto-organización de los eventos GOSH, mi rol de observadora fue comunicado en el formulario de aplicación y durante el evento en instancias de presentación personal. Estas actividades tuvieron como resultado conversaciones informales, exploratorias, con algunos participantes de latinoamérica, y la producción de notas de campo.

El **análisis de documentación** se realizó a fines de 2019, e incluyó la revisión de todos los documentos públicos, «oficiales» del movimiento incluyendo reportes de las actividades a las fundaciones que financian los eventos, reportes comunitarios, manifiesto, estrategia, plan de acción; minutas públicas de reunión de organizadores, artículos de prensa, artículos publicados en revistas científicas, posts en el foro comunitario y publicaciones en redes sociales.

4.3.1.2 Análisis de datos

Los productos de estas tres actividades, en su mayoría material escrito y en algunos casos audiovisual a partir del cual se produjeron notas y observaciones, se

incorporaron al corpus del movimiento global para su análisis. Para analizar los datos del corpus se utilizó un conjunto de técnicas denominadas *template analysis* o análisis de plantilla (King 2004).

Este tipo de técnicas de organización y análisis de datos en formato texto implica básicamente que el investigador produce una serie de códigos que representan temas identificados en el corpus; algunos de estos códigos son definidos a priori, pero son modificados y enriquecidos a medida que avanza el análisis. La plantilla o conjunto de códigos se organiza de forma de mostrar las relaciones entre los temas, a veces jerárquicamente aunque la organización puede ser también en paralelo.

Esta forma de analizar los datos es particularmente conveniente en el caso de investigaciones de tipo exploratorio, donde el interés está en observar tópicos emergentes y no en construir teoría. La plantilla inicial de análisis se elaboró en base al cuestionario de entrevistas; a partir de la lectura y análisis del material en cuatro oportunidades utilizando el software *taguette* se llegó a la plantilla final de códigos que puede consultarse en el anexo 2.

4.3.2 Estudio de proyectos GOSH

Para dar respuesta a las preguntas de investigación número dos y número tres, este trabajo adopta la estrategia de estudio de caso (Yin 2018). Estudiar casos permite explorar en profundidad programas, eventos, actividades o procesos a través de la recolección de información detallada con un abanico de métodos durante un período de tiempo. Por otro lado, la elección del estudio de caso se basa en la naturaleza exploratoria de la pregunta de investigación, orientada a procesos en lugar de incidencias, la ausencia de control sobre el comportamiento de los participantes, y que se trata de procesos contemporáneos en lugar de históricos.

Yin (2018) define el estudio de caso en términos de alcance y de sus características particulares. Respecto al alcance, el estudio de caso trabaja sobre eventos contemporáneos en profundidad, contextualizados, en particular cuando el fenómeno no puede delimitarse con claridad del contexto. Por otro lado, el estudio de caso se enfrenta a una situación donde existen más variables de interés que datos u observaciones, y por lo tanto es necesaria una triangulación entre la investigación guiada teóricamente y el uso de múltiples fuentes de evidencia.

Más específicamente, este trabajo adopta un diseño de estudio de casos múltiples «en bloques». Incorporar más de una unidad de análisis permite construir argumentos con una base más convincente cuando no existe un caso paradigmático

que abordar. La propuesta es seguir una lógica de replicación, donde la selección de casos permite predecir resultados similares (réplica literal) o diferentes por razones previstas (réplica teórica). Cada caso individual es el objeto de un estudio de caso en sí mismo, en el cual emergen patrones y resultados que luego se intentan contrastar con el resto de las unidades. A fin de seguir esta lógica, el diseño propuesto de casos múltiples se plantea «en bloques», delimitando algunas características que se anticipan como significativamente diferenciales. En esta tesis esa característica tiene que ver con el lugar y el propósito del proyecto, dividiendo los casos en dos bloques: i) desarrollo dentro de instituciones académicas y ii) desarrollo en ámbitos no institucionales o «comunitarios».

4.3.2.1 Selección de casos

La unidad de análisis en este estudio de casos múltiples es el proyecto de hardware científico abierto en el sur global, tanto dentro de ámbitos académicos como dentro de ámbitos comunitarios.

Similar a la estrategia para el análisis del movimiento global, desde mediados de 2017 y durante 2018 se desarrolló una fase exploratoria donde se relevaron y consolidaron iniciativas afiliadas a la red GOSH en una base de datos colaborativa, que cuenta actualmente con 110 proyectos a nivel global*. Esta base de datos se conformó a partir de registros públicos de asistencia a eventos de la red, firmas del manifiesto GOSH, análisis de repositorios online y datos provistos por actores clave. Adicionalmente se distribuyó una encuesta entre los proyectos identificados que tuvo una tasa de respuesta del 35%, y permitió recopilar información sobre las características principales de cada proyecto, incluido el grado de afinidad de las iniciativas con ítems del manifiesto GOSH.

La información recopilada en la fase exploratoria se contrastó con los siguientes criterios de selección de casos, como muestra 4.1

Este recorte definió la selección de cuatro proyectos o unidades de análisis, dos en contexto académico y dos en contexto comunitario. Cada bloque cuenta con un caso que desarrolla sus actividades en países de Latinoamérica y otro que lo hace en países de África.

*<https://github.com/thessaly/goshmap>

Cuadro 4.1: Criterios para la selección de proyectos GOSH

Madurez de la iniciativa	Al menos un año de trabajo sostenido
Documentación	Cuenta con documentación pública
Número de participantes	Más de dos colaboradores
Afiliación	Participó de al menos un evento GOSH o firma el manifiesto GOSH online
Objetivos del proyecto	Afinidad con conceptos de democratización del manifiesto GOSH
Área de trabajo	Existen procesos de diseño, fabricación y uso en países de Latinoamérica o África
Contexto de trabajo	Académico: universidades o institutos de investigación Comunitario: espacios no institucionales
Accesibilidad	Posibilidad de realizar observación participante o realizar entrevistas a los colaboradores

Cuadro 4.2: Casos seleccionados

	Contexto académico	Contexto comunitario
Latinoamérica	Proyecto Gorgas Tracker	Proyecto Vuela
África	Proyecto OpenFlexure	Proyecto KossamTor

4.3.2.2 Protocolos de caso

Para el análisis de cada uno de los cuatro proyectos en estudio se procedió a elaborar un protocolo de caso siguiendo las recomendaciones de Yin (2018). Contar con un protocolo para cada caso permite anticipar y planificar la recolección de datos a fin de asegurar la recopilación de toda la información necesaria para el análisis.

Los protocolos de caso elaborados para los proyectos en estudio, que pueden encontrarse en el anexo 3, se dividen en cuatro secciones:

- Sección A: presentación sintética del caso, objetivos, información clave, lecturas relacionadas

4.3. ESTRATEGIA DE INVESTIGACIÓN

- Sección B: procedimientos para la recolección de datos, checklists incluyendo consentimiento informado, datos de contacto de los entrevistados, fuentes alternativas de datos y otros aspectos logísticos
- Sección C: preguntas guía para el investigador, a fin de orientar el proceso de la recolección de datos; estas preguntas no son un cuestionario para entrevista
- Sección D: guía tentativa para reportar resultados

Guiadas a través del protocolo, las actividades de recolección de datos para cada uno de los casos incluyeron el análisis de documentación y la realización de entrevistas a informantes clave. Estaba planificado realizar observación participante de ambos casos comunitarios; aunque esto se logró en el caso del proyecto Vuela en 2018, durante la realización de uno de sus talleres de fabricación en Buenos Aires, no fue posible hacerlo para el proyecto KossamTor; aunque se consiguió financiamiento el viaje se suspendió debido a la pandemia de COVID-19.

4.3 detalla las actividades de recolección de datos para cada uno de los proyectos. En todos los casos se obtuvo el consentimiento informado de los entrevistados, utilizando el formulario que se adjunta como anexo 5.

4.3.2.3 Análisis de datos

Para el análisis de los productos de las actividades de recolección de datos en cada caso se utilizó, como para el análisis del movimiento, la técnica de análisis de plantilla (King 2004). En base a la experiencia obtenida durante la fase exploratoria y el cuestionario guía de los protocolos de los estudios de caso, se construyó la plantilla inicial de códigos conteniendo las grandes temáticas abarcativas para cada caso.

Utilizando *taguette*, se procedió a revisar cada uno de los materiales del corpus utilizando la plantilla inicial, lo que llevó a modificaciones de distinto tipo: agregado y borrado de códigos, cambios en el alcance, cambios en las jerarquías. Luego de revisar en tres oportunidades cada material y alterar la plantilla de códigos se dio por finalizada la actividad de codificación, obteniendo el listado final de códigos que puede encontrarse en el anexo 4.

Los temas emergentes fueron analizados en primera instancia dentro de cada caso, para en una etapa posterior realizar una comparación dentro de cada bloque y finalmente entre bloques, en todas las oportunidades ilustrando estas relaciones a través de citas textuales provenientes de los materiales. Estas relaciones se sintetizaron en cuadros comparativos que introducen los grandes temas

Cuadro 4.3: Actividades de recolección de datos para el estudio de casos

	Análisis de documentación	Entrevistas en profundidad
Gorgas Tracker	Publicaciones en revistas científicas, páginas web institucionales, repositorios del proyecto, publicaciones en redes sociales	<ul style="list-style-type: none"> - Entrevistados: 3 - Formato: entrevista semiestructurada - Idioma: español - Fecha: 2019 y 2020 - Roles: investigador principal en su rol de usuario, el investigador a cargo del diseño del artefacto, y estudiantes a cargo del trabajo de campo
Open Flexure	Publicaciones en revistas científicas, artículos de prensa, páginas web del proyecto, repositorios del proyectos, documentos públicos de otorgamiento de fondos, publicaciones en redes sociales	<ul style="list-style-type: none"> - Entrevistados: 3 - Formato: entrevista semiestructurada - Idioma: ingles - Fecha: 2019 y 2020 - Roles: técnico de laboratorio en rol usuario, ingeniero en makerspace y un investigador de la Universidad de Bath parcialmente a cargo del desarrollo
Vuela	Publicaciones en revistas científicas, páginas web del proyecto, repositorios del proyecto, publicaciones en redes sociales	<ul style="list-style-type: none"> - Entrevistados: 3 - Formato: entrevista semiestructurada - Idioma: español - Fecha: 2019 y 2020 - Roles: ambos iniciadores en su rol de facilitadores y fabricantes, y uno de los usuarios-desarrolladores que formó parte de los talleres comunitarios
KossamTor	Artículos de prensa, páginas web del proyecto, repositorios del proyecto, documentos públicos de otorgamiento de fondos, publicaciones en redes sociales	<ul style="list-style-type: none"> - Entrevistados: 4 - Formato: entrevista semiestructurada - Idioma: ingles - Fecha: 2020 - Roles: iniviador del proyecto en su rol de facilitador, y las tres micro biólogas participantes en el diseño, en su rol de colaboradoras en la fabricación y facilitadoras

identificados, y que dan pie al desarrollo de cada uno de los siguientes capítulos de resultados.

Cuadro 4.4: Criterios de consistencia y tácticas empleadas

	Táctica implementada
Validez del constructo	Utilización de múltiples fuentes de evidencia
Validez externa	Lógica de replicación entre los casos de estudio
Confiabilidad	Utilización de protocolos de caso y desarrollar base de datos para cada caso

4.3.2.4 Evaluación de consistencia

Para asegurar la consistencia y evaluar la calidad del proceso de investigación, la literatura propone cuatro criterios de validación para los estudios de casos:

1. Validación del constructo: correcta operacionalización de los conceptos estudiados
2. Validación interna: búsqueda de relaciones causales distinguiendo relaciones espurias
3. Validación externa: demostrar si y cómo los resultados del caso pueden ser generalizados
4. Confianza: demostrar que los procedimientos, por ejemplo de recolección de datos, son replicables

De estos criterios, sólo los puntos a, c y d son válidos para investigaciones de tipo exploratorio. Yin (2018) proponen tácticas para abordar específicamente cada uno de estos criterios; 4.4 detalla las tácticas utilizadas en este estudio.

La validez del constructo se aborda a partir de la triangulación de múltiples fuentes de evidencia (análisis de documentos, observación participante cuando es posible, entrevistas en profundidad) y la creación de un corpus para cada caso que incluye toda la información recolectada con diferentes identificadores, utilizando el software *taguette*. Esto permite, junto al protocolo de cada caso, generar una cadena de evidencia que conecta las preguntas de investigación, los protocolos de recolección de datos y las fuentes de datos. A su vez, esta es una de las tácticas que se utilizan para incrementar la confiabilidad del estudio. Finalmente, para asegurar la validez externa se utiliza la lógica de replicación atendiendo a la posibilidad de obtener réplicas literales y teóricas a partir del diseño en bloques

4.4 Resumen del capítulo

Este capítulo presentó el diseño de la investigación elegido para este trabajo, comenzando por definir la postura relativista y constructivista desde donde se sitúa el análisis y la opción por una estrategia de investigación cualitativa.

A partir de estas definiciones se introdujo la estrategia de análisis adoptada para responder a la primera pregunta de investigación, el estudio del movimiento GOSH. Se detallaron las técnicas de recolección de datos incluyendo la observación participante, el análisis de documentación y las entrevistas a informantes clave. Posteriormente se presentó la estrategia de análisis de datos, basadas en técnicas de análisis de plantillas.

El capítulo presentó la estrategia del estudio de casos múltiples y sus ventajas para abordar las preguntas dos y tres de investigación. Se indicó el proyecto GOSH como unidad de análisis, describiendo el proceso de selección de casos académicos y comunitarios, las técnicas de recolección de datos para cada nivel de observación y el proceso de análisis a través de las técnicas de *template analysis*. Finalmente se mostraron los criterios de consistencia y las técnicas empleadas para asegurar la validez de los resultados y argumentos esgrimidos, que se presentan en los próximos capítulos.

Capítulo 5

El movimiento Global por el Hardware Científico Abierto (GOSH)

5.1 Introducción al capítulo

A modo de presentación del estudio del movimiento global, este capítulo reconstruye la historia de GOSH desde sus orígenes en 2014 hasta la actualidad. Se presentan de forma cronológica los hitos de la comunidad como fueron narrados por fundadores, organizadores y participantes clave en trece entrevistas realizadas entre 2018 y 2019, desde las conversaciones previas al primer encuentro global hasta las últimas etapas hacia la descentralización, en 2020. Una [versión de divulgación](#), más corta que este capítulo y conteniendo más detalle sobre equipos organizadores, fue escrita a pedido de la comunidad.

5.2 Rastreado hilos

La mayoría de los entrevistados recuerda «*estar haciendo esto del hardware científico abierto antes de saber que se llamaba así*», ya sea trabajando con kits educativos en escuelas, fabricando herramientas abiertas desde laboratorios en la academia o participando de proyectos de monitoreo ambiental comunitario. Todos asocian los orígenes del HCA como concepto con la filosofía del software libre, la producción de pares y el movimiento *maker*, recién haciendo uso del término una vez que es definido por GOSH. Algunos de los nombres que se mencionan como

ampliamente utilizados antes que GOSH definiera *hardware científico abierto* son *open labware* o *do it yourself science equipment*.

Para llegar al primer encuentro en 2016, una serie de conversaciones previas tuvieron lugar entre actores disímiles, conectados a veces por casualidad, otras veces intencionalmente. En 2013, Greg Austic y Jenny Molloy se conocieron al compartir alojamiento en la casa de un amigo en común, para asistir a una conferencia de ciencia abierta en Estados Unidos donde «*el foco estaba puesto en los datos abiertos, nadie hablaba de hardware*». Austic, trabajando en Michigan, tenía experiencia en el desarrollo del [Photosynq](#), una plataforma de hardware abierto para la investigación en agricultura, y un historial de colaboración en investigación comunitaria sobre biodiésel. También había asistido a los encuentros anuales de la Asociación de Hardware Abierto (OSHWA), aunque consideraba que «*no se ajustaba a nuestras necesidades, todo giraba alrededor de fabricar luces de colores*». En ese momento, Molloy trabajaba como bióloga en la Universidad de Cambridge investigando sobre enfermedades transmitidas por mosquitos, frustrada por lo inaccesibles que resultaban las herramientas de investigación para sus colegas en los países donde las enfermedades son endémicas. También formaba parte de comunidades como Open Knowledge, y había asistido a una presentación de Rafael Pezzi en Sudáfrica que la interpeló directamente, sobre hardware abierto para ciencia. Pezzi había fundado en 2012 el Centro de Tecnología Académica en la Universidad Federal de Río Grande do Sul, Brasil; una de las iniciativas más tempranas de desarrollo de herramientas de investigación en un contexto académico. En una conversación personal en 2017, Pezzi comentaba su visión sobre el HCA:

[El Hardware Científico Abierto] es una forma de combinar los pilares de la Universidad: investigación, educación y extensión. Más allá de los desafíos técnicos o culturales, nosotros [CTA] no encontramos barreras impuestas por la propiedad intelectual para conectar estas actividades, como las herramientas que utilizamos son abiertas, podemos enseñar lo que hacemos a la gente que está fuera de la universidad

Molloy también estaba en contacto con Francois Grey, quien desde Suiza como *fellow* de la Fundación Shuttleworth creó [Citizen Cyberlab](#), un instituto de investigación en nuevos métodos para la participación pública en ciencia y tecnología. Grey había trabajado en CERN y fundado el [CERN WebFest](#), un festival donde nacieron proyectos de hardware abierto educativo y para investigación como [CosmicPy](#). Desde Citizen Cyberlab se promueve el estudio de iniciativas de ciencia ciudadana con un foco en la computación distribuida, por ejemplo en proyectos como [LHC@Home](#). Durante 2013 Grey se encontraba liderando

un proyecto educativo llamado *Lego2Nano*, donde estudiantes del Reino Unido y la Universidad de Tsinghua en China trabajaban codo a codo para crear un «nanoscopio»*. Este proyecto ganó gran visibilidad, asociando el concepto de *serious play* promovido desde la Fundación LEGO, con el desarrollo de HCA.

Grey es uno de los intermediarios clave que conecta participantes disímiles dentro de GOSH. A partir de su experiencia dando clases en la Universidad de Nueva York había entrado en contacto con Shannon Dosemagen, directora ejecutiva de **PublicLab**, ya que una de sus alumnas formaba parte de la organización. Previo a co-fundar PublicLab en 2010, Dosemagen formaba parte de una organización comunitaria ambiental llamada «*Louisiana Bucket Brigade*». El grupo proveía de herramientas simples, de muy bajo costo (baldes), a los vecinos preocupados sobre el efecto de las refinerías de petróleo lindantes a sus casas, a fin de que pudieran obtener muestras para llevar a analizar a un laboratorio oficial. Cuando sobrevino el desastre del derrame de petróleo en el Golfo de México en 2010, los activistas de la *Louisiana Bucket Brigade* comenzaron a colaborar con científicos y académicos vecinos de la zona, combinando sus herramientas de bajo costo con software de código abierto para monitorear el avance de la mancha de petróleo. En una entrevista personal, Dosemagen relata cómo se vivía ese momento en Estados Unidos, atravesado por un auge de proyectos de gobierno abierto y movimientos ciudadanos como *Occupy Wallstreet*:

Entre 2010 y 2015 había mucho movimiento que comenzaba a suceder en la ciencia abierta y el hardware, se sentía como... Lanzar un petardo y que las chispas aparezcan por todas partes [...] Había mucho movimiento pero no había una buena manera de juntarlo todo.

Grey también estaba familiarizado con el trabajo en Suiza de Urs Gaudenz y Marc Dousseiller, ingeniero y nanotecnólogo respectivamente, pertenecientes a la red global de biohacking comunitario **Hackteria**. Auto-definido como investigador de múltiples sombreros, «workshopologist» y artista, Dousseiller había participado en movimientos relacionados al open source, la escena de arte multimedial y hacktivismo desde principios de los años 2000. En 2008, mientras se encontraba dando clases en la Universidad del Noroeste en Basel, Suiza, implementó un enfoque de ciencia abierta en sus clases, haciendo que los estudiantes utilicen wikis y software libre, motivándolos a construir HCA. En 2009, luego de una participación en un taller dentro del programa *Interactivos?* del MediaLab Prado, en Madrid, fundó Hackteria junto a Yashas Shetty, un educador y músico de Bangalore, y Andy Gracie, un artista inglés. El objetivo de la red global Hackteria es reunir artistas y

*El proyecto fue la base del actual OpenAFM.

diseñadores trabajando con biotecnologías, para compartir los métodos de trabajo. En 2019 Hackteria celebró su décimo aniversario, habiendo organizado talleres de biohacking, bioarte, biología sintética, fermentación y bioelectrónica alrededor del mundo.

Por otro lado, Urs Gaudenz, un ingeniero basado en Lucerna, Suiza, fundador de [GaudiLabs](#) y también miembro de Hackteria, recuerda estar trabajando en HCA en su laboratorio desde fines de los años '90. Cuando conoció a Dusseiller comenzó a fabricar HCA para laboratorios caseros de microbiología, primero creando un set genérico de herramientas y luego diseñando aplicaciones específicas como la plataforma de microfluidica *OpenDrop*, uno de los diseños más populares de HCA. Gaudenz retoma el momento en que comenzaron a reflexionar sobre la práctica de Hackteria, a partir de las investigaciones de la filósofa y diseñadora Denisa Kera, en particular sobre talleres de Hackteria en Indonesia:

Fue en 2013 cuando Denisa [Kera] reflexionaba sobre lo que hacíamos con Hackteria -era un poco la filósofa de lo que hacíamos- cuando empezamos a reflexionar sobre lo que hacíamos a principios de 2009 con estos talleres construyendo microscopios

La conexión entre Austic, Grey, Molloy y Adam Wolf (quien meses después dejaría el proyecto) ocurrió en el Festival Mozilla del 2014, un evento anual sobre software de código abierto que alojaba algunas actividades de ciencia abierta, como muestras de proyectos surgidos en el CERN WebFest. Fue a partir de este encuentro que comenzó a tomar forma la idea de organizar un evento sobre hardware abierto, específico para ciencia. En una entrevista, Grey comenta que intencionalmente abrió la conversación a Dosemagen, Dusseiller y Gaudenz a fin de contar con una perspectiva más amplia de ese primer evento que no contemplara solo la visión académica que aportaba Molloy, o de emprendedurismo que traía Austic, o su propia mirada desde la educación.

Luego de estas conversaciones iniciales y numerosos intercambios por correo electrónico, parte del grupo se encontró en la conferencia internacional *Tech4Dev* en 2014, organizada anualmente por Naciones Unidas en Lausanne, Suiza. Allí ya se encontraban Dusseiller y Gaudenz, que post-conferencia organizaron un primer taller de HCA en conjunto con Grey y Molloy, donde se fabricaron robots que nadaban y transmitían grabaciones desde el fondo del Lago Léman. Dusseiller reflexiona sobre los inicios de GOSH en una entrevista en 2019:

Creo que GOSH está reuniendo muchas redes y comunidades que ya existían o que han existido durante mucho tiempo, así que no es

que GOSH haya empezado en un vacío en absoluto [...] Estuvimos involucrados desde los primeros tiempos del movimiento de biohacking con Hackteria, esto fue creo que mucho antes de que muchos académicos abordaran el tema.

5.3 Primer contacto

A través de la intervención de Dosemagen, en 2015 la Fundación norteamericana **Alfred P. Sloan** aceptó costear la organización del primer evento. Sloan es una fundación independiente establecida en 1934 por el en ese entonces CEO de la General Motors, con el objetivo de financiar actividades de investigación y educación en ciencia, tecnología y economía. Uno de los representantes de la fundación había demostrado interés en las actividades de la Asociación de Hardware Abierto y en particular por el hardware abierto para ciencia, a partir de conocer a Dosemagen por su perfil público y trabajo en PublicLab. Aunque con interés en la participación pública en ciencia, el foco principal de Sloan está en financiar actividades que permitan expandir la adopción del HCA en particular en el ámbito académico.

Este primer financiamiento permitió organizar el encuentro de 2016 en *IdeaSquare*, un espacio de innovación abierta en el CERN. La elección de CERN responde tanto a una cuestión logística (es accesible desde cualquier punto de Europa) y a que Grey contaba con acceso por haber trabajado allí. Además, simbólicamente es relevante la elección del CERN dado el pionero trabajo de la colaboración europea en el campo del hardware abierto. Organizar un evento en CERN genera alta visibilidad, atrayendo participantes de todo el mundo. El espíritu de innovación abierta de *IdeaSquare*, sumado a que todos los participantes compartían espacios en el hostel del CERN, contribuyó a fomentar la sensación de pertenencia a una comunidad, como relata Dosemagen:

Creo que el evento de 2016, fue algo así como «no vamos a ir a una universidad y estar allí de nueve a cinco, vamos a hacer una especie de retiro y vamos a cocinar juntos, comer juntos, dormir en el mismo lugar, vamos a construir la comunidad de esa manera».

A modo de broma, Grey menciona que fue él quien propuso el nombre «GOSH» para el grupo en este encuentro. Casualidad o no, el acrónimo ya había sido utilizado anteriormente para denominar otro evento, el *Grounding Open Source Hardware*, donde un grupo de participantes creó la temprana *Open Hardware*

5.3. PRIMER CONTACTO

Design Alliance (OHANDA). OHANDA impulsó un programa de certificación previo al establecimiento del programa OSHWA, que se disolvería años más tarde.

En términos de participación, este primer evento contó con 54 participantes seleccionados a partir de 70 aplicaciones, principalmente de Europa y Estados Unidos, incluyendo educadores, investigadores, emprendedores y activistas. Una de las intenciones de los organizadores desde el comienzo fue lograr paridad de género y diversidad de formación en los participantes. Los métodos de organización comunitaria implementados por PublicLab, las técnicas de facilitación utilizadas en talleres de Hackteria y otras ideas tomadas de organizaciones en el ámbito de la ciencia abierta ya estaban presentes fuertemente en este primer GOSH. Andre Chagas, investigador brasileño radicado en Alemania y participante de todos los eventos de la comunidad, relata qué cosas le llamaron la atención de ese primer encuentro en 2016:

En el mundo de las conferencias académicas lo normal es que la gente viene a presentar durante horas y luego las discusiones más interesantes suceden en los pasillos. GOSH toma todo esto y lo pone al revés, los que están en los pasillos son llevados al centro y no de arriba hacia abajo.

Los cuatro días de programa fueron organizados en cuatro ejes: «Grandes desafíos», «habilitando soluciones», «compartiendo lo que sabemos», y «financiando la ciencia colectivamente», incluyendo presentaciones de Sean Bonner (co-fundador del proyecto [Safecast](#) en Japón), Denisa Kera (filósofa y diseñadora) y representantes de [Kickstarter](#), plataforma de financiamiento colectivo. El resto del tiempo se auto-organizó con numerosas sesiones de «desconferencia» y talleres prácticos; el último día incluyó la presentación de artistas locales trabajando con HCA traídos por Dusseiller, y artistas del programa [Arts@CERN](#).

Al finalizar el tercer día de encuentro, los participantes decidieron articular los que consideraban valores de la comunidad en el manifiesto GOSH, uno de los hitos que sentó las bases para el trabajo de los próximos años. En una publicación reciente, Kera et al. (2019) mencionan que su intención al participar de GOSH fue transmitir el mensaje de que el HCA también llega a comunidades pequeñas, fuera de las agendas de la *big science*, con impacto en la vida cotidiana de quienes participan; y que intentaron que estos valores aparezcan en el manifiesto. En palabras de Austic, sobre la confección del primer borrador del manifiesto:

[Quienes escribimos el borrador] estábamos en los extremos opuestos de las cosas, pero creo que porque forzamos esos dos aspectos [tecnología

frugal versus emprendedurismo y gran escala] a trabajar en el mismo manifiesto, terminamos con cosas que tienen sentido.

El manifiesto además permitió trasladar el entusiasmo generado en el encuentro más allá del evento. Distintas personas alrededor del mundo encontraron el documento *online* y lo firmaron, y a partir de allí comenzaron a involucrarse más directamente. Thomas Mboa, quien luego sería uno de los co-fundadores de AfricaOSH, entró en contacto con la comunidad luego de firmar el manifiesto online.

5.4 Mirando al sur

La reunión de 2016 demostró que existía interés en el HCA, y además, que los participantes se encontraban desarrollando sus actividades de forma aislada, buscando apoyo en sus lugares de trabajo y comunidades. El evento fue cubierto por prensa tanto desde espacios de la comunidad maker y de biohacking, como *Makery*, *Science Hackday PDX*, *Borders Festival*; de la innovación social, como Interactivos!, de la academia como *Nature News* o *Global Young Academy Connections*, y por medios de comunicación masiva como *The Guardian*.

El apoyo sostenido de la Fundación Alfred P. Sloan y contribuciones menores de la Fundación Mozilla y la publicación científica *HardwareX* (Elsevier) permitieron organizar un nuevo encuentro en 2017, esta vez de alcance global. Como parte de las actividades, y a partir de la sugerencia de la Fundación Sloan, uno de los objetivos del encuentro era que las discusiones y perspectivas intercambiadas converjan en el proceso de escritura de una «hoja de ruta» o estrategia del movimiento. Austic recupera la lógica que llevó a organizar el encuentro fuera de Europa:

[Después de 2016] surgió que, debido a que esto va a ser global, vamos a llevar la pregunta «¿qué es el hardware científico abierto para ti?» a diferentes culturas del mundo, y dejar que esa pregunta se responda de cualquier manera que se responda en ese lugar.

El lugar elegido para realizar el encuentro fue Chile, bajo el tema «*Construyendo un movimiento*». La elección de Latinoamérica como sede tuvo el objetivo de diversificar la comunidad y fomentar el debate en torno a las estrategias locales en materia de HCA. Chile cuenta con una escena activa de biohacking e innovación en laboratorios comunitarios; Molloy además estaba en contacto con un equipo

de investigación dentro de la Universidad Católica de Chile, donde se realizó el evento, trabajando en tecnologías abiertas para biología sintética. El equipo de organizadores sumó a Max Liboiron, tras su participación clave en 2016, y a Fernán Federici, investigador de la Católica, en representación del equipo local. Antes de la reunión, en enero 2017 se creó el foro virtual de GOSH, plataforma que centraliza los debates virtuales de la comunidad.

Aunque la diversidad de participantes había sido uno de los ejes de selección en el evento de 2016, una encuesta distribuida después del encuentro mostró que los asistentes sentían que hacía falta ampliar la convocatoria. Es por esto que en 2017 todo el evento giró alrededor del concepto de equidad: se seleccionaron cien participantes de 30 países de entre 159 solicitudes, entre ellos un 48% de mujeres o género no binario, un 55% de participantes de países del sur global, 25% de minorías sub-representadas en ciencia y un 34% provenientes de organizaciones de la sociedad civil. El tiempo dedicado a desconferencias aumentó hasta ocupar el 70% del total, se diseñó un Código de Conducta y se designó una voluntaria para implementarlo. Otro de los objetivos de este encuentro fue identificar y apoyar a participantes activos, que quisieran impulsar el movimiento a nivel local. En una entrevista personal, una de las organizadoras destaca el tipo de trabajo necesario y lo que implica para ella organizar gente tan diversa:

El tema de la diferencia en un colectivo y de moverse juntos es que si no has identificado el bien común en el que estás dispuesto a encontrarte, a pesar de toda la diferencia, y no eres capaz de poner juntas las estructuras que pueden realmente poner en funcionamiento cómo todo el mundo se acerca a ese bien, no va a funcionar. Eso significa mucho trabajo de solidaridad: No te entiendo, no puedo lidiar con tu acento y no puedo entender lo que dices pero creeré que estamos trabajando hacia el mismo objetivo, lo que no significa necesariamente que estemos de acuerdo.

El programa de 2017 en la Universidad Católica de Chile incluyó cuatro días de actividad que comenzaron con una síntesis de los acuerdos alcanzados a partir del primer encuentro, incluyendo el manifiesto, y una capacitación breve a todos los asistentes en técnicas de facilitación. El objetivo de esta mini capacitación es que las sesiones y actividades permitieran a los participantes interactuar de la mejor manera posible. Además de las sesiones de desconferencia y talleres, hubo un espacio para la exposición de posters y hardware abierto al público, que atrajo gran visibilidad. Durante el tercer día se presentó la propuesta de elaboración de la hoja de ruta o *roadmap*, con Liboiron en el rol de facilitadora de los debates grupales para consensuar las principales ideas, estrategias y prioridades que se reflejarían en el

documento. Después de estos cuatro días, algunos de los participantes organizaron dos días más de trabajo en colaboraciones y proyectos específicos.

La agenda de las sesiones de desconferencia cubrió temas que abarcaron desde estrategias anticapitalistas facilitadas por HCA hasta modelos de negocio basados en apertura, además de talleres prácticos que por ejemplo mostraban cómo construir un *WaterScope*. Un equipo de voluntarios se encargó de la documentación del evento, asegurándose que todas las sesiones tuvieran su documentación en el foro GOSH, tomando fotografías, y coordinando la escritura del [reporte comunitario](#) del encuentro.

5.5 Una hoja de ruta hacia 2025

El proceso de escritura de la hoja de ruta desarrollado en el encuentro de 201, se había iniciado en noviembre de 2016 tras la primera reunión, cuando varios participantes propusieron una serie de estrategias y acciones a seguir una vez terminado el evento. En un taller de escritura organizado en el CERN en marzo de 2017, esas primeras ideas se siguieron trabajando para presentarlas a la comunidad en el encuentro de Chile de una forma más organizada.

Durante el encuentro, cada sección del documento se discutió con los cien participantes en formato asamblea, que dieron su opinión, votaron y agregaron o quitaron secciones según su propia experiencia. La documentación de este proceso deliberativo, en cientos de post-its y afiches, se sistematizó entre marzo y septiembre de 2017 a través de reuniones virtuales mensuales y sesiones de redacción motorizadas por un grupo de voluntarios. En septiembre de 2017 se convocó un segundo taller de escritura en el CERN que invitó a un pequeño grupo de diez participantes, entre ellos los voluntarios del equipo de documentación, que siguieron trabajando sobre el primer borrador. Más allá de la instancia física de escritura, el proceso podía seguirse por streaming. La primera versión del documento fue publicada y abierta a comentarios en el foro de GOSH durante dos semanas. Estos comentarios volvieron a incorporarse, publicándose la versión final en enero 2018. En una entrevista personal, Molloy identifica este proceso como uno de los hitos de la comunidad:

Las reuniones, el manifiesto, la publicación de la hoja de ruta y el proceso de llegar a ella, la redacción de 7 meses de la hoja de ruta... Son importantes porque representan lo que la comunidad está haciendo.

La hoja de ruta final está estructurada en tres secciones: Aprender, Apoyar, Crecer. En cada una se detallan las grandes tareas a realizar para alcanzar el objetivo que se propuso la comunidad: que el hardware científico abierto sea omnipresente en 2025. Luego de la publicación, el documento fue presentado en distintos espacios accesibles a miembros de la comunidad, desde hackerspaces y espacios comunitarios a conferencias académicas; se utiliza también como herramienta para organizar los eventos satélite regionales, y constituyó la base de la organización del encuentro global 2018 en Shenzhen, China. En entrevista personal con Mboa, el coordinador de Africa OSH destaca la importancia del documento para el accionar colectivo:

La hoja de ruta de GOSH tiene un impacto muy grande; estoy usando los principios de la hoja de ruta en otros contextos para hacer otros proyectos, es un documento colectivo muy poderoso.

5.6 Hacia el otro lado del mundo

Después de un año agitado que incluyó la organización del primer encuentro global, los siete meses de proceso de escritura de la hoja de ruta, su publicación y difusión; el encuentro global de 2018 fue coordinado por el mismo equipo pero sin contar con Liboiron, con Dusseiller y Gaudenz volviendo como co-organizadores luego de asistir como participantes en Chile, con Besar Zasella y Ji Li como colaboradores locales, y la incorporación de Mboa, Federici y quien suscribe como representantes de ÁfricaOSH y la red latinoamericana respectivamente.

Siguiendo con la propuesta de ampliar el movimiento y fomentar la construcción de comunidades regionales, se consideró que llevar el evento a Asia era un buen próximo paso. Después del evento en Chile, las encuestas a los asistentes habían incluido la pregunta sobre la próxima sede, con opciones en Asia. Con todo el material de las respuestas, los organizadores establecieron una lista de 15 posibles lugares que incluía una comparación de costos de los vuelos, alojamiento, alimentación, disponibilidad de espacio, el apoyo local y la actitud positiva hacia grupos LGBT+. Dada su conexión con la Universidad de Tsinghua, Grey había propuesto Shenzhen como posible lugar para un evento GOSH ya en 2017. La decisión final fue entre la India y China, teniendo que decidirse por la segunda luego que la organizadora local en India declinara la participación por razones personales. Molloy cuenta en una entrevista personal cuáles fueron los criterios para elegir la sede de GOSH 2018:

La principal razón para elegir Shenzhen fue la financiación del gobierno,

que no ocurrió, y la promesa de un equipo de apoyo local, que necesitábamos [...] El problema con los visados fue una golpe bajo, pero tener el equipo local a bordo fue clave para que funcionara.

Organizar un evento en China con participantes de diferentes países implica un costo elevado principalmente en pasajes. Desde 2016, quienes son seleccionados para participar en GOSH cuentan con todos los gastos del viaje cubiertos. La Fundación Sloan siguió prestando apoyo a GOSH 2018, que se complementó con fondos de la Fundación Betty y Gordon Moore, que financia PublicLab y aceptó cubrir parcialmente algunos costos del evento. También se recibieron contribuciones de Kickstarter, PLOS, Ricolab, HardwareX y SeedStudio, y se sugirió una cuota de inscripción para aquellos participantes que pudieran pagarla a fin de apoyar los gastos de viaje de otros participantes.

Organizar un evento sobre hardware abierto en Shenzhen tiene un carácter especial. La ciudad china, ubicada justo frente a Hong Kong, pasó de ser una aldea de pescadores de 30 mil habitantes en los años '70 a sus 30 millones actuales. Su designación como Zona Económica Especial a inicios de la década de 1980 impulsó el crecimiento y la llegada de inmigrantes desde diferentes rincones de China para trabajar, mezclándose con inmigrantes de países de todo el mundo atraídos por la posibilidad de hacer negocios que ofrece la ciudad (Yuan et al. 2010). En Shenzhen se encuentran tanto las fábricas de Apple como los mayores centros de falsificación de tecnología a nivel global. El mayor mercado de hardware existente hasta hoy, *Huaqiangbei*, se encuentra ubicado en un gigantesco edificio organizado por pisos dedicados a componentes específicos, que atrae a *makers* alrededor del mundo. La escena de hardware de la ciudad es muy importante e incentivada por el gobierno, contando con servicios de fabricación que permiten a pequeños hobbistas acceder a grandes escalas de producción, y agencias público-privadas que promueven la innovación abierta a escalas no contempladas en otras latitudes como el [Shenzhen Open Innovation Lab \(SZOIL\)](#).

La encuesta post-GOSH 2017 mostró que una inquietud de la comunidad es comprender cómo «escalar» los desarrollos; Shenzhen es el lugar perfecto para conectar pequeños proyectos de prototipado generalmente financiados de forma colectiva con las fábricas que pueden convertirlos en productos. La contracara de esta situación es que la escena maker china está dominada por el discurso del emprendedurismo y la cultura de la startup. Los proyectos de educación STEM que utilizan hardware lo hacen también desde un lugar de construcción de capacidades para el emprendedurismo o la innovación social. Aunque existen [makers feministas](#) de alta visibilidad, la cultura hacker y activista/feminista en China existe pero es generalmente menos visible, por lo cual fue difícil para la comunidad GOSH acceder

a esta escena local.

El evento GOSH 2018 se realizó en las instalaciones de [OpenFIESTA \(Open Faculty for Innovation, Education, Sciences, Technology and Art\)](#), un laboratorio de innovación abierta dedicado a la investigación y la educación, con espacios tanto de reunión como laboratorio de electrónica y biología, ubicado en el campus Shenzhen de la [Universidad de Tsinghua](#). Aunque los contactos de miembros de GOSH permitieron acceder a algunos espacios de la escena hacker independiente, los esfuerzos de organización por alcanzar los objetivos demográficos se vieron retribuidos parcialmente, siendo la mayor dificultad poder llegar a participantes locales. Por otro lado, inconvenientes con los visados e ingresos a último momento de los participantes provenientes de África también contribuyeron a no alcanzar los objetivos.

El eje del evento fue «*scaling hardware, growing community*». Se recibieron trescientas aplicaciones, entre las cuales se seleccionaron cien. Al igual que en instancias anteriores, el evento comenzó con una introducción que incluía la planificación colectiva de la desconferencia, la capacitación a todos los asistentes en técnicas de facilitación y un repaso de la historia del movimiento GOSH. El programa se condensó en 4 días, con actividades basadas en la hoja de ruta del año anterior. En cada uno de los tres primeros días se abordaron temas relacionados a cada sección del documento (aprender, sostener, crecer), en formato de panel de ponentes seguido de un debate plenario.

Al igual que en Chile el 70% del tiempo fue dedicado a sesiones de desconferencia incluyendo discusiones y talleres prácticos. Uno de los talleres más celebrados fue el de [GynePunk](#), o técnicas de ginecología autogestiva utilizando HCA; en una sala contigua otros participantes armaban sus propios osciloscopios; otros discutían técnicas de documentación, cómo hacer sostenible un emprendimiento usando HCA, cómo abordar la sostenibilidad ambiental de los proyectos o cómo resistir la presión de las oficinas de transferencia tecnológica de las universidades. Todas las sesiones fueron documentadas por los participantes por un equipo voluntario de documentación en el foro GOSH.

El último día se dedicó a deliberar colectivamente sobre cómo transformar la hoja de ruta en un plan de acción asignando plazos y responsabilidades. Facilitado por Austic y quien suscribe, el proceso asambleario comenzó por hacer concretas las estrategias definidas en la hoja de ruta, y luego abrir un proceso de auto-asignación de responsabilidades. Después de la reunión, todas las acciones y responsabilidades fueron documentadas en un repositorio de GitLab GOSH, para poder rastrear su avance post-encuentro. Actualmente un bot realiza el seguimiento de las tareas y

recuerda a los participantes que documenten el grado de avance.

Como en encuentros anteriores, se organizó un evento público que esta vez tuvo lugar en x.factory. Situado en el corazón de Shenzhen, x.factory es un emprendimiento público-privado que ofrece instalaciones de taller para *makers* con equipos de nivel de producción industrial, espacio de co-working y servicios de consultoría, conectando a la comunidad con los recursos de fabricación de la ciudad y con oportunidades de mercado. En este espacio se presentaron los proyectos más paradigmáticos de la comunidad, como Open Flexure, a una audiencia que incluía tanto funcionarios públicos como empresarios y makers. El programa se completó con una muestra de proyectos de arte y ciencia por parte de los GOSHers, y la organización de actividades pre y post encuentro para visitar hacklabs locales y colaborar en proyectos específicos, o visitar lugares emblemáticos de Shenzhen como Huaqiangbei. En una conversación informal con Ji Li, representante de la organización local Open Fiesta y parte del equipo organizador del evento, el investigador comenta qué le resulta interesante de la propuesta de GOSH:

Todo el mundo usa la palabra «maker» en China, todo el mundo desarrolla tecnología, todo el mundo tiene una start-up, pero aquí [con GOSH] hay una oportunidad: cualquiera puede usar estos dispositivos de código abierto para contribuir a la ciencia y hacer el bien.

5.7 Encuentros distribuidos

Durante el último día de GOSH 2018, parte de los fundadores comunicaron que no era su intención organizar una reunión global en 2019. Algunas de las razones aducidas fueron que el crecimiento de la comunidad desde 2016 volvía complicado centralizar las actividades en un solo encuentro manteniendo las características de GOSH; otro de los argumentos fue que un evento de estas características exige enormes esfuerzos de organización que descansan en el trabajo voluntario de un pequeño grupo. Molloy comenta su posición al respecto en una entrevista personal:

Llegamos al punto en que tenemos que excluir a la gente de venir al evento, la mitad de la gente no pudo venir a este GOSH [2018], y no es la posición en la que nos gustaría estar.

Esta decisión encontró algunas resistencias, generando tensiones con aquellos participantes que piensan que nadie debería adjudicarse la decisión de poder

desarrollar o no un evento global. Teniendo en cuenta la postura de los organizadores, las tensiones de algunos participantes y otros debates surgidos durante la escritura de la hoja de ruta, se acordó que la mejor estrategia para el movimiento era la organización de múltiples eventos regionales y locales con el espíritu de GOSH, que se conecten entre sí. Además, los organizadores que participaron desde el primer día acordaron documentar de forma abierta qué hace que un evento GOSH sea tan característico, para que quien desee pudiera organizar un encuentro similar en cualquier latitud.

El primer caso de descentralización ya había surgido después de la reunión de 2017, cuando Thomas Mboa y Jorge Appiah se conocieron en la reunión de Chile y decidieron organizar un evento similar al de GOSH para los países de África. Mboa era estudiante de doctorado en Camerún, dirigido por la investigadora canadiense Florence Piron; su tema de trabajo era la descolonización del movimiento de ciencia abierta en África. Appiah por otro lado es un ingeniero y emprendedor africano co-fundador de Kumasi Hive, un hub de innovación en Ghana que provee capacitación en tecnologías emergentes a jóvenes desempleados y estudiantes, y desarrolla proyectos tecnológicos de innovación social en un marco de emprendedurismo. La primera edición de AfricaOSH se realizó en el espacio Kumasi-hive en 2018; la segunda edición se realizó en 2019 en el makerspace STICLab en Dar es-Salaam, Tanzania. El foco de AfricaOSH va más allá del hardware abierto para incluir la ciencia abierta en general; en el contexto del auge de los «innovation hubs», la forma que toma GOSH en África tiene mucho que ver con la cultura del emprendedurismo y la innovación social. En una entrevista personal, Mboa reflexiona sobre su encuentro con Appiah:

Su abordaje [de Appiah] era muy diferente al mío, él tenía esta idea de comunidad, de estar inserto en GOSH [...] tuvimos esta gran discusión sobre ¿cómo podemos llevar esta conversación a África, desde los africanos? Así que AfricaOSH comenzó con una discusión entre Jorge y yo en Chile.

En América Latina la red tiene características diferentes. Algunos «GOSHers» ya estaban conectados a través de otras redes preexistentes relacionadas con las tecnologías para el desarrollo. La más relevante es [tecnoX](#), un encuentro auspiciado por UNESCO que se realiza anualmente en diferentes países latinoamericanos donde estudiantes de la región proponen proyectos abiertos de biología sintética con impacto local, que luego desarrollan y presentan el día del evento. Surge como la versión regional de la competencia internacional de estudiantes de biología sintética iGEM que comenzó en 2003 como un curso independiente del MIT; pero con un espíritu más de colaboración que de competencia.

Durante el encuentro de 2017 en Chile los GOSHers latinoamericanos ya habían identificado la necesidad de armar una red regional, oportunidad que se concretó cuando volvieron a encontrarse en el evento TecnoX de 2018 en Valparaíso. El grupo incluía investigadores de Argentina como Gustavo Pereyra Irujo, Alejandro Nadra y quien suscribe, chilenos como Paz Bernaldo y Federici, brasileños del Centro de Tecnología Académica como Pezzi y Marina de Freitas, y peruanos como Pierre Padilla-Huamantínco de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, y estudiantes y colaboradores de la Universidad Católica de Chile.

En ese encuentro se acordó que la mejor manera de avanzar el trabajo regional era produciendo tecnologías localmente, a través de residencias regionales para la construcción de HCA. Las residencias son estancias de tres semanas en las cuales miembros de la red se reúnen en un país elegido ese año como sede, y fabrican con materiales locales diseños de HCA elegidos de antemano por su impacto social en la región. Para desarrollar este programa se aplicó a un subsidio del [Programa iberoamericano de ciencia y tecnología para el Desarrollo \(CyTED\)](#), que se obtuvo y permitió asegurar fondos para actividades entre 2019 y 2022. La primera residencia tuvo lugar en agosto de 2019 en Porto Alegre (Brasil), en el Centro de Tecnología Académica.

La red, denominada [reGOSH](#), comenzó con el objetivo de gestionar las residencias, para poder obtener diseños de HCA regionales hechos con materiales accesibles y construir la capacidad de fabricación necesaria en los nodos de la red. La pandemia impidió la continuación de las residencias en 2020, pero la red sigue activa y en proceso de consolidación de sus objetivos estratégicos. Entre ellos se encuentran constituirse como referencia para el desarrollo de HCA regional, generar alianzas con usuarias de estas tecnologías dentro y fuera de la academia y elaborar recomendaciones de políticas para la promoción del HCA en la región.

En el norte global también se realizaron eventos satélites GOSH. En Canadá, «*Great Lakes GOSH*» se desarrolló en julio de 2019 con el objetivo de generar nuevas colaboraciones y mejorar la interoperabilidad entre el hardware y el software de código abierto, a partir de la producción de proyectos concretos. El evento siguió el modelo GOSH de desconferencia, sesiones y talleres prácticos más un hackathon, y fue documentado principalmente en el foro de la comunidad. En Suiza, GOSHers europeos crearon una campaña de financiamiento colectivo y organizaron un evento para trabajar en el [proyecto ReSeq](#); este proyecto pretende hackear antiguos secuenciadores de ADN descartados por universidades para convertirlos en instrumentos de código abierto que puedan ser utilizados en otras investigaciones.

A inicios de 2020, antes de la pandemia de COVID-19, el [Bath Open](#)

Instrumentation Group (BOING) de la Universidad de Bath en el Reino Unido, parte de GOSH, organizó un evento que a diferencia de los típicos de la comunidad fue puramente académico. Incluyó charlas y discusiones acerca de cómo avanzar el HCA en la academia, contando con la participación y presentación de Adrian Bowyer, fundador del proyecto RepRap y profesor de la misma casa de estudios. Estas discusiones incluyeron también a autoridades de las oficinas de transferencia tecnológica de la universidad, quienes plantearon sus preguntas sobre la compatibilidad entre la práctica del HCA y la necesidad de patentar las innovaciones por parte de la institución. BOING continúa trabajando en el tema desde su proyecto insignia Open Flexure, organizando discusiones y conversaciones entre actores clave con el objetivo de establecerse como referencia del uso y producción de HCA en la academia.

En este contexto de descentralización de actividades, durante el período de pandemia llegó la noticia de que la Fundación Alfred P. Sloan estaba dispuesta a financiar GOSH por tres años más para un programa que incluya más actividades que el desarrollo de eventos. Este nuevo financiamiento fue recibido con sorpresa por parte de la comunidad generando **tensiones**, ya que implicó la creación de una organización no gubernamental en Estados Unidos, non-profil 501, a fin de gestionar los fondos. Este proceso resultó en la contratación por parte de GOSH Inc. de personal para cubrir el rol de coordinación o *community management* y el rol de facilitación de las sesiones o llamadas comunitarias, además de la creación de grupos de trabajo para la definición de un sistema de gobernanza, y la votación (en curso) de un concejo comunitario.

En una entrevista personal en 2019, Gaudenz comenta lo que significa para él trabajar en una comunidad abierta como GOSH:

No hay nada en el mundo que puedas tomar y no devolver. Tan pronto como empieces a participar en una comunidad abierta, tan pronto como empieces a usar los recursos de una comunidad abierta, nosotros también nos involucramos y tú tienes la responsabilidad de compartir, de contribuir.

5.8 Resumen del capítulo

En este capítulo se introdujo, a modo de presentación del movimiento y en un tono de cronología, la serie de eventos que se sucedieron desde las primeras conversaciones entre los fundadores de GOSH en 2014 hasta la creación de la

organización no gubernamental en 2020 y las discusiones de gobernanza. La presentación de los hitos de la comunidad, incluyendo los encuentros globales pero también la redacción colaborativa de documentos de estrategia y acción y el proceso de descentralización, permiten contextualizar el estudio de casos múltiples en el sur global.

La descripción muestra la lógica detrás de la evolución en el tiempo de GOSH, la extensión y diversidad de las redes de los participantes en el movimiento, su conexión con diversos tipos de instituciones e indicios de tensiones entre formas de concebir la acción colectiva. Hacia el final, la presentación de las redes regionales pretende brindar contexto sobre las discusiones que anteceden a los proyectos de GOSH en el sur global.

Luego de esta primera aproximación, el próximo capítulo presenta un análisis del colectivo en términos de construcción del movimiento; se caracteriza la diversidad de grupos que confluyen en la acción colectiva de GOSH con énfasis en sus tensiones y de qué forma son aprovechadas para alcanzar sus objetivos.

Capítulo 6

Construcción de un nicho estratégico de innovación

6.1 Introducción al capítulo

Uno de los objetivos de este trabajo consiste en comprender en qué medida y de qué forma el movimiento global por el hardware científico abierto (GOSH) constituye un nicho estratégico de innovación, con las particularidades de los movimientos de innovación de base. El capítulo anterior presentó la historia de GOSH para contextualizar esta pregunta. Este capítulo contribuye al objetivo presentando los resultados del análisis de información documental, observación participante y entrevistas a trece informantes clave durante 2017-2020, en el contexto del marco teórico y la metodología presentados en los capítulos tres y cuatro de este trabajo. Una versión de este capítulo en formato artículo se encuentra en prensa en la revista *International Journal of Engineering, Social Justice and Peace* y disponible como pre-print en SocArxiv* .

El capítulo comienza con la descripción del contexto de inserción de GOSH, desde donde se teje la historia reconstruida en el capítulo anterior. La siguiente sección abre el análisis presentando los principales actores y *marcos conceptuales* que informan el movimiento y dan forma a su acción colectiva. Continúa con la caracterización de los diferentes *espacios* que los participantes de GOSH abren para sus actividades y las *estrategias* que utilizan para hacerlo. Finaliza con una síntesis de estos resultados a la luz del enfoque de movimientos de innovación base y la teoría de transiciones, caracterizando GOSH como nicho estratégico de innovación.

*<https://osf.io/preprints/socarxiv/46keb/>

6.2 Radicalizando ventanas de oportunidad

Los primeros proyectos comunitarios que combinan hardware abierto y ciencia surgieron hacia fines de la década del 2000; el libro paradigmático de Joshua Pearce sobre cómo armar un laboratorio con hardware abierto (usualmente referido como la «biblia» del HCA) fue publicado en 2012. Las oportunidades materiales que se habilitan a fines de la década del 2000, como la fabricación digital, la masificación de internet, el costo históricamente bajo de los componentes electrónicos; combinadas con artefactos como las licencias abiertas para hardware abierto, los foros de discusión, las listas de correo; facilitaron el surgimiento y crecimiento de numerosos proyectos de HCA. Otras iniciativas intentaron hacia el inicio de la década reunir a la comunidad desarrollando hardware abierto para ciencia, sin éxito. ¿Por qué GOSH lo logra?

A diferencia de sus antecesores, son las oportunidades políticas y los cambios culturales los que permiten a GOSH articular esa actividad material con un discurso de cambio que llega a un número de actores mayor y de naturaleza diferente. A partir del análisis del contexto surgen principalmente tres antecedentes relevantes que re-configuran la percepción sobre la participación en ciencia y tecnología, y que son aprovechados por GOSH.

Una de esas oportunidades políticas viene asociada a un auge de las «*civic technologies*» durante los primeros años de la década del 2010. Dosemagen, co-fundadora de GOSH, explica en una entrevista personal en 2019 cómo percibía estos cambios en ese momento:

hubo un amplio movimiento en torno a la tecnología cívica, y en los Estados Unidos específicamente también hubo un movimiento en torno a OpenGov y Gov 2.0, la gente siendo capaz de tener sistemas de gobierno [...] vimos enormes cambios en la forma en que la gente estaba pensando en la creación y el uso de la tecnología [...] hubo un sponsor que estaba dispuesto a decir «vamos a darle medio millón de dólares sólo para probar este modelo y ver qué pasa» y esa es una situación de financiamiento muy, muy, muy inusual.

Uno de los casos paradigmáticos de este tipo de iniciativas fuera de los Estados Unidos es el de *Safecast*, la respuesta comunitaria ante el desastre nuclear de Fukushima en 2011. El volumen de participación ciudadana y de datos generados por Safecast fue tan significativo que el Organismo Internacional de Energía Atómica invitó a sus organizadores en 2014 a un taller de políticas. Esta legitimación de

la iniciativa frente a los múltiples detractores de la validez científica de los datos producidos sentó un precedente positivo para proyectos similares alrededor del mundo. Hoy, a diferencia de inicios de la década, está aceptado que las iniciativas comunitarias distribuidas tienen el potencial de producir datos que pueden resultar útiles para la toma de decisiones en esferas de la política, al complementar las mediciones oficiales.

Otro de los antecedentes relevantes viene dado por los logros del movimiento de ciencia abierta a principios de los años 2000 y profundizados en la última década, que normalizaron en la academia el lenguaje y las ideas de la apertura, promoviendo debates transversales a todas las disciplinas respecto de los derechos de propiedad común del conocimiento científico. El primer encuentro fortuito de Austic y Molloy ocurrió en una conferencia de ciencia abierta; las tempranas experiencias de Pezzi y el Centro de Tecnología Académica en Brasil con HCA se presentaban dentro de eventos de la comunidad de ciencia abierta. GOSH presenta sus propuestas enmarcadas directamente en el discurso del este movimiento: «*no hay ciencia abierta sin hardware científico abierto*», radicalizando el reclamo de participación y transparencia en los procesos de investigación.

Más cercano en el tiempo, la crítica abierta y reconocida sobre la falta de diversidad e inclusión en la producción de conocimiento académico se ve reflejada en el aumento de publicaciones sobre el tema en revistas prestigiosas, la implementación de programas dedicados al tema en universidades, el requisito de «inclusión y diversidad» en los proyectos de investigación. A medida que la diversidad e inclusión se normalizan en la academia, son menos los actores que pueden cuestionar abiertamente la demanda de GOSH de aumentar la diversidad en producción de conocimiento sin pagar costos. Existen aquellos que no se ven interpelados por el discurso, pero toman una actitud de alejamiento en lugar de confrontación abierta. Una de las organizadoras comenta sobre este cambio de percepción en una entrevista personal realizada en 2019:

Hay algo que está sucediendo en todos lados en la producción de conocimiento formalizado, en la academia, en la industria, que es el reconocimiento de que realmente hay estas otras formas de conocimiento ahí fuera, que son útiles y verdaderas en diferentes parámetros [...] estas cosas han estado sucediendo durante mucho tiempo, y creo que el cambio ha sido impulsado por las instituciones y normas establecidas sobre el conocimiento, dándose cuenta de que no sólo necesitan sino que quieren estos otros tipos de conocimientos

Como mencionan los entrevistados que forman parte de proyectos comunitarios,

el hardware científico abierto ya venía sucediendo por fuera de los ámbitos formales pero sin el nombre, de forma aislada o en redes por «disciplina», como en el caso del biohacking o la respuesta a conflictos socioambientales. Los ejemplos mostrados anteriormente ilustran cómo en 2016 el terreno se encontraba más preparado que a inicios de la década para que actores académicos interesados en la temática se sumen al movimiento, con menos riesgos de quedar asociados al activismo. En una especie de efecto bola de nieve de legitimidad, la presencia de estos primeros académicos que se unieron a GOSH, en general provenientes de universidades europeas y estadounidenses, aumentó la credibilidad en el movimiento y atrajo a otros.

Los logros de iniciativas y movimientos anteriores habilitan que la discusión sobre las herramientas científicas abiertas sea percibida como menos radical y por ende más posible. Una de las estrategias más comunes de esas primeras iniciativas comunitarias era mostrarse como neutrales, en respuesta a los innumerables ataques a la legitimidad de los datos producidos. Safecast, trabajando desde el inicio en un campo controversial como es la radiación nuclear, siempre se definió como una iniciativa «apolítica» y «pro datos».

La propuesta de GOSH en este sentido resulta mucho más radical y explícitamente política desde el manifiesto; puede permitírsele porque aunque existen voces que cuestionan la legitimidad de los datos comunitarios, son más fuertes los antecedentes de éxito donde puede hacer pie. El movimiento de ciencia abierta, con el foco puesto en el acceso a las publicaciones y datos científicos, a partir de cuestionar quién es propietario del conocimiento, también brinda la plataforma necesaria para que GOSH pueda ir más allá, pidiendo que las herramientas para hacer ciencia estén en más manos de diferentes personas. Sobre estos hitos anteriores que corren el horizonte de cambio imaginable, GOSH propone ir un poco más allá, construyendo un mensaje que llega tanto a participantes comunitarios como académicos, y con ellos llegan sus ideas, estrategias y espacios por ocupar.

6.3 Marcos conceptuales en GOSH

Los fundadores y participantes en GOSH provienen de una amplia variedad de espacios, aportando múltiples visiones y escuelas de pensamiento que convergen en la propuesta principal enunciada en el manifiesto del movimiento (Community 2016). Las siguientes secciones describen estos marcos conceptuales en términos de actores, sus motivaciones, cómo problematizan el escenario y sus visiones para el HCA.

6.3.1 Ciencia abierta

GOSH encuentra un número significativo de sus activistas en **investigadores dentro de la academia**, principalmente en las ciencias naturales y las ingenierías. La distribución de la comunidad cambió intencionadamente después de la primera reunión en 2016, ampliando la proporción de participantes de África y América Latina al panorama original dominado por investigadores de Europa y Estados Unidos.

Los académicos dentro de GOSH expresan que una de sus principales **motivaciones** para sumarse al HCA es un problema que sus predecesores fueron capaces de resolver y que ellos no pueden solucionar: estudiar, compartir, reparar y adaptar las herramientas científicas para que se ajusten a sus necesidades específicas de investigación. Por el contrario, hoy en día las herramientas científicas son muy difíciles de arreglar, personalizar o inspeccionar completamente, debido a las restricciones de las patentes y los diseños cerrados.

Esta problematización no está lejos de las reivindicaciones de otras comunidades que abogan por un rol más activo de las usuarias-desarrolladoras de tecnología, como el movimiento por el Derecho a Reparar: «*Queremos reparar las cosas que poseemos, para poder usarlas durante más tiempo*» (Opsomer 2020) o la comunidad maker: «*El mejor atributo de un espacio maker bien gestionado es el intercambio de habilidades y conocimientos*» (Hatch 2014). Sin embargo, los investigadores en GOSH perciben que las barreras a las que se enfrentan las usuarias de las herramientas científicas son particulares y diferentes que las del movimiento maker, planteando la implicancia del HCA para el sistema de producción de conocimientos y para la sociedad en su conjunto. En una entrevista personal en 2019 Austic, co-fundador de GOSH con perfil académico-emprendedor, describe este nicho particular: «*En la conferencia anual de la asociación de hardware abierto la gente no está hablando de cómo hacer para influir sobre la ciencia; y en las conferencias de ciencia abierta todo se trata del acceso abierto a las publicaciones*».

No poder acceder a los planos del hardware científico se traduce en importantes retrasos, costos para los investigadores y equipos no funcionales que se acumulan en los laboratorios de las universidades. La dependencia de los proveedores también representa un riesgo para la investigación, ya que las empresas pueden quebrar, abandonar una línea de productos o perder personal especializado. Gaudenz, ingeniero e investigador suizo y uno de los principales referentes en GOSH, lo enmarca como un problema más amplio relacionado con la cultura académica y la dinámica de poder dentro de las universidades, previendo que «*en 20 a 50 años no va a haber ninguna investigación que no esté basada, al menos parcialmente, en*

hardware abierto [...] todas estas jerarquías y grupos de investigación cerrados y el paradigma de competencia, es un completo desastre».

En este marco conceptual, la visión del HCA se concibe como habilitadora de una «*mejor ciencia*»: los diseños pueden ser inspeccionados o revisados por pares de manera transparente evitando la duplicación de esfuerzos, obteniendo mejores resultados, facilitando la reproducibilidad y potencialmente favoreciendo la carrera académica de los desarrolladores de hardware. Mientras que algunos de estos beneficios previstos se muestran ya en la literatura (Pearce 2014), los posibles beneficios para los desarrolladores de hardware siguen siendo un pendiente para la comunidad académica de GOSH. Aunque existen revistas dedicadas específicamente al hardware abierto, tanto corporativas como HardwareX (Elsevier) o comunitarias como el *Journal of Open Hardware*, todavía se está debatiendo la forma de implicar a las universidades y presionar para que se reconozca la labor de desarrollo de HCA (Stirling 2020).

Todos los entrevistados mencionan como una de las principales motivaciones de su práctica de HCA la capacidad de personalizar las herramientas para sus propias necesidades. Esto se refleja en la mayoría de los talleres prácticos durante los eventos, donde se enseñan conocimientos básicos de hardware, se muestran nuevas adaptaciones o discuten formas novedosas de documentación (GOSH 2019). En la hoja de ruta de la comunidad (Community 2018) el HCA se presenta como una oportunidad para ahorrar costos de reparación y compras de equipos, aprovechar la capacidad del personal técnico en las universidades, fomentar la colaboración y desarrollar pedagogías más útiles en STEM. En una entrevista en 2019, Li, co-organizador de GOSH y parte de una iniciativa de educación abierta en la Universidad de Tsinghua en China refuerza esta idea: «*El sistema de investigación no está listo para el futuro, hay muchos recursos desperdiciados: los departamentos compiten entre sí cuando podrían estar haciendo cambios significativos si compartieran*».

A modo de síntesis, este marco conceptual concibe el HCA como una forma más eficiente y conveniente de hacer ciencia para los académicos, estudiantes, instituciones, empresas, pero en última instancia para la sociedad, que se beneficiaría de una innovación acelerada y un mayor acceso a más y mejores conocimientos a nivel global.

6.3.2 Justicia ambiental y justicia cognitiva

«Justicia ambiental» (EJ por sus siglas en inglés) como concepto refiere tanto

a un movimiento social como a un cuerpo de literatura de las ciencias sociales, que trata la cuestión de cómo se distribuyen los beneficios y los daños ambientales dentro de la sociedad, pero más ampliamente, de cómo las comunidades pueden participar en igualdad de condiciones en la discusión de políticas ambientales, siendo sus prácticas reconocidas y valoradas (Agyeman et al. 2016). Entre sus principios se encuentran la producción de conocimiento, las prácticas y las evaluaciones situadas, asegurar el reconocimiento de las demandas y contribuciones de las comunidades e identificar los obstáculos para la participación. Como movimiento cuenta con una tradición de prácticas de empoderamiento comunitario a través de actividades de monitoreo ambiental y procesos de producción de conocimientos (Roberts y Toffolon-Weiss 2001; United Church of Christ 1987). En una línea similar pero campos diferentes, la justicia cognitiva (CJ por sus siglas en inglés) hace un llamamiento a la fraternidad entre las formas de conocimiento (Visvanathan 2006), afirmando que nuestra sociedad privilegia el conocimiento científico sobre otras formas de conocimiento y que esto tiene consecuencias sociales, económicas y políticas indeseables para las comunidades (Mgbeoji 2014).

EJ y CJ son temas frecuentes en las reuniones de GOSH. Entre los principales actores asociados a este marco conceptual se encuentran activistas, ONGs, investigadores en ciencias sociales que ven en el HCA una poderosa herramienta para fomentar el cambio social, logrando objetivos más allá del ámbito académico y de las formas convencionales de producción de conocimientos. Su principal **motivación** se basa en el hecho de que la mayoría de la población, a menudo sometida a injusticias ambientales o de otro tipo, tiene un acceso restringido a las herramientas científicas y, por lo tanto, no puede utilizarlas para sus propias necesidades de investigación o educación.

La existencia de un modelo cerrado y patentado de herramientas científicas se postula como la consecuencia de una concentración de la capacidad de diseñar tecnología en grupos pequeños y privilegiados, creando una asimetría de poder entre los creadores de las herramientas y las usuarias de las mismas. Esta asimetría se **problematiza** de diferentes maneras:

- Las patentes promueven la concentración de la producción, generando costos prohibitivos e inaccesibilidad en algunos lugares (por ejemplo, restricciones a las importaciones);
- Cuando la tecnología está disponible, las personas no pueden utilizarla eficazmente en algunos contextos o necesidades particulares que no fueron considerados en el diseño;
- Cuando la tecnología está disponible, muchas veces no es accesible para un grupo de personas, ya que no se consideraron originalmente como usuarias.

El modelo cerrado se ve, por lo tanto, como la reproducción de injusticias sistémicas. La falta de acceso a las herramientas de producción de conocimientos para los sectores menos representados significa que se producen más conocimientos asociados a grupos dominantes (occidentales, blancos, masculinos, académicos), mientras que se invisibiliza a los grupos no hegemónicos (de bajos recursos, indígenas, mujeres, no académicos). En relación con el concepto de ciencia no hecha (Hess 2016), dado que las herramientas sólo son dominadas por los académicos, los gobiernos o los mercados, el conocimiento producido es sólo el que interesa a esos actores. Como las comunidades no tienen los medios para producir sus propios conocimientos, sus programas quedan invisibilizados. En una entrevista en 2019, Una de las organizadoras se expresa al respecto: *«El conocimiento local, el conocimiento ecológico tradicional, el conocimiento situado el conocimiento de las mujeres, así como la ciencia abierta [...] tal vez no parezca ciencia, pero es una búsqueda sistemática de conocimiento sobre el mundo material».*

Las ideas de EJ son mencionadas explícitamente por los entrevistados de origen activista o no académico, además de aparecer en documentos de la comunidad como la hoja de ruta y en la documentación de eventos. Más allá del discurso están arraigadas en la práctica: gran parte de los proyectos GOSH trata sobre comunidades usando HCA para monitorear el ambiente, y en las sesiones de los eventos globales este es uno de los temas que aparecen más frecuentemente. También constituyen la base de la estrategia de diversidad que todos los entrevistados identifican como lo que hace que GOSH se diferencie de otras comunidades dentro de la academia y la industria. Como tales, se las puede observar en el manifiesto de la comunidad:

La gente tiene derecho al conocimiento, y por lo tanto un derecho a las herramientas para obtener ese conocimiento. Las usuarias alinean sus tecnologías con sus valores convirtiéndose en creadores [...] El hardware de ciencia abierta está abierto a todos, sin consideraciones de antecedentes académicos, país, raza, sexo o religión y no tolera la discriminación por estos motivos [... El hardware de ciencia abierta pone el conocimiento local en acción y contribuye a la justicia cognitiva [...] No tienes que ser un «biólogo» para hacer biología, o tener un título para hacer investigación [...] GOSH permite a las personas realizar investigaciones basadas en las necesidades de sus comunidades (Manifiesto de GOSH, 2016).

6.3.3 Tecnologías apropiadas y pedagogías críticas

El término «tecnología apropiada» (TA), acuñado en los debates económicos sobre el desarrollo de los años '60 (Smith et al 2017), implicaba un determinado

conjunto de características: tecnologías de bajo costo, fabricadas con materiales locales, empleando mano de obra local, en pequeña escala, sin necesidad de conocimientos técnicos de alto nivel o educación hegemónica, desarrollo colaborativo o colectivo, no utilización de patentes u otros instrumentos de propiedad intelectual. En algunos contextos también incluía instancias de participación donde las comunidades definían sus propios problemas y experimentaban con sus propias soluciones (Fressoli y Arond 2015). En Latinoamérica en particular, las ideas de la TA se vieron influidas por los conceptos de las pedagogías críticas, en los que la educación se entiende como un instrumento para el pensamiento crítico y la movilización política (Fals Borda 1979; Freire 1973).

Muchos de los participantes en GOSH son **educadores y activistas** con formación en pedagogía crítica. Estos actores **problematizan** el sistema cerrado de hardware científico como un impedimento para el acceso a la tecnología, favoreciendo soluciones únicas que no tienen en cuenta las peculiaridades de los diferentes contextos. El hardware propietario se enmarca como una de las causas del acceso asimétrico norte-sur a la ciencia y la educación, reforzando la dependencia tecnológica y entorpeciendo la educación, la inserción laboral y el desarrollo de soluciones locales a los problemas de la comunidad. En una entrevista en 2019 con Mboa, coordinador de Africa OSH, se exponen estas ideas en referencia al HCA en África: *«debemos evitar replicar simplemente lo que viene de afuera [...] tenemos que apropiarnos, contextualizar y ver lo que es bueno para nosotros o lo que no es bueno para nosotros»*.

Las **visiones** dentro de este marco giran en torno al HCA como una forma de democratizar la ciencia y la tecnología, reducir la brecha tecnológica y contribuir al desarrollo en países de la periferia. En conversaciones personales con participantes del movimiento trabajando en iniciativas educativas en Nepal, las referencias a los trabajos de Freire eran frecuentes, al igual que la utilización del concepto de «tecnologías apropiadas». Los entrevistados de comunidades africanas o latinoamericanas, en concordancia con estudios anteriores que muestran la conexión con temáticas de desarrollo postcolonial y económico (Kera 2015), postulan al HCA como una vía para que los grupos menos privilegiados puedan acceder, aprender y utilizar herramientas científicas para sus propias necesidades de investigación, educación y desarrollo.

6.3.4 Cultura hacker y trans hacktivismo

El movimiento hacker, cuya filosofía y práctica informa a la mayoría de las comunidades abiertas y de producción de pares (Benkler 2006), suele asociarse con

un espíritu basado en valores liberales como la libertad de información y expresión, el derecho a la privacidad, la meritocracia y el poder de los individuos (Coleman 2004; Levy 1984). Sin embargo, la articulación de estos conceptos adopta formas diferentes a través de la interacción con otras líneas de pensamiento, creando un conjunto de expresiones relacionadas pero diferentes en torno a la propiedad, el trabajo y la creatividad (Coleman y Golub 2008). Una de estas expresiones, el trans hacktivism, presenta puntos de intersección con los marcos descritos anteriormente: combina conceptos de la cultura hacker con el feminismo interseccional y la teoría queer, la pedagogía crítica, la descolonización de la tecnología y el autonomismo.

Los **artistas, biohackers, trans hacktivistas** en GOSH trabajan en un continuo entre el oficio, la ciencia y el arte, participando normalmente a través de talleres prácticos durante los eventos globales. Muchas de ellas también forman parte de comunidades de biohackers, como Hackteria o DIY Bio, o de iniciativas más institucionales como el concurso iGEM o el MIT Summit.

Las transhacktivistas construyen su principal problematización en torno al predominio de una perspectiva única incorporada en el diseño de la tecnología, su poder normativo y las consecuencias para los individuos. Plantean que la hegemonía en el diseño tecnológico restringe las posibilidades de que surjan y crezcan visiones alternativas de la ciencia y la tecnología. Los temas habituales incluyen la normalización de las identidades y los cuerpos (Forlano 2016; Tsang 2017), la pérdida de privacidad debido al capitalismo de la vigilancia, y las expresiones patriarcales en la tecnología (Davis 2016). El taller «Uso del espejo de forma práctica - Laboratorio de hardware transfeminista» tuvo lugar durante el evento global GOSH 2018, con la siguiente descripción:

«El hardware principal es el cuerpo». La propuesta de la sesión fue discutir el contexto del transhackfeminismo y la intersección con el HCA. Hubo dos talleres propuestos por Paula Pin: Coñurt (elaboración de yogur con el lactobacillus vaginal) y la prueba fácil de vinagre para el HPV. La sesión se basó en una introducción sobre cómo el transfeminismo propone más autonomía en términos ecológicos y ginecológicos, para luego centrarse en el propio cuerpo (GOSH, 2019).

El transhacktivism valora la colaboración en lugar de la competencia, el ser autodidacta, la experimentación y el fracaso como parte de la experiencia de crear tecnología. Su visión enmarca el HCA como un instrumento para desarrollar infraestructuras autónomas, descolonizar la tecnología y descentralizar el poder que ejerce sobre los cuerpos.

6.3.5 Interacciones, tensiones y sinergias

El marco conceptual colectivo de GOSH ha cambiado a través del tiempo según la dinámica de la interacción entre las corrientes presentadas. Las visiones sobre lo que es o debería ser el HCA difieren entre los actores y actualmente están evolucionando como respuesta a los procesos de descentralización.

La dinámica de esta interacción puede rastrearse a lo largo de las sucesivas reuniones e hitos de la comunidad. Tras determinar que era necesario organizar un primer evento sobre HCA, el primer grupo de organizadores, identificado en su mayoría con el marco de la ciencia abierta y la educación formal, convoca intencionadamente a los actores comunitarios que trabajan con HCA en contextos diferentes -una mezcla de activistas comunitarios, educadores, artistas-. Esta apertura dio como resultado una diversidad de asistentes e ideas en la reunión de 2016, y la publicación del manifiesto GOSH que contiene los valores que estas comunidades consideran importantes. Una de las organizadoras menciona, en una entrevista en 2019, como la definición de tecnología se amplió a lo largo del tiempo en GOSH:

La definición de tecnología [en la reunión de 2016] fue mucho más limitada que, digamos, el segundo año de GOSH, la idea de lo que es un fabricante o inventor era todavía un poco más limitada que la de Chile, tanto en la concepción de lo que significa abierto, como de lo que significa la ciencia y la tecnología.

Previo al segundo evento global, los criterios de selección de participantes se anclaron en un enfoque de equidad, lo que dio lugar a una reunión mucho más diversa. La proporción de participantes extra-académicos, los esfuerzos dirigidos a facilitar la deliberación para construir la hoja de ruta y el contexto de América Latina, donde una alta proporción de los proyectos de HCA se orientan a problemáticas sociales, dieron a este encuentro un sabor diferente. Austic menciona cómo en el encuentro de Chile las ideas que dominaron fueron diferentes al encuentro en CERN:

En Chile 2017 había mucha gente de izquierda, y que trajo esa filosofía para explicar por qué el hardware científico abierta era relevante, para empoderar a la gente menos privilegiada, y no es algo que hubiera surgido de un contexto europeo al hacer la misma pregunta.

De manera similar, los objetivos demográficos no alcanzados, la visibilidad

menor de la comunidad activista local y el contexto chino altamente orientado al emprendedurismo dieron a la reunión de 2018 un estilo diferente. Sobre los dos años anteriores de crecimiento y tras el proceso de redacción de la hoja de ruta, los debates se centraron en cómo escalar, cómo crecer. La problematización se basó principalmente en cómo hacer crecer el movimiento y las estrategias para influir en las instituciones, principalmente de educación e investigación. De esta manera, la influencia del marco conceptual de la ciencia abierta, más institucionalizado, se hizo más fuerte.

En cuanto a la acción colectiva, la interacción de los marcos proporciona claros **beneficios** a los participantes y una cierta flexibilidad a GOSH. El mensaje se puede dirigir a múltiples destinatarios con vocabularios y narrativas adaptadas: mientras que algunos miembros de GOSH publican artículos científicos a favor del HCA de forma convencional, otros aparecen en eventos comunitarios o talleres que difunden los valores e ideas del HCA, contribuyen a que actores no académicos aprendan a construir HCA o desarrollan instalaciones artísticas que utilizan herramientas abiertas. Las redes disponibles aumentan y se diversifican, incrementando la posibilidad por ejemplo de conseguir fuentes de financiamiento para las actividades.

Los diseños desarrollados por los académicos obtienen más difusión y usuarias en comunidades a las que sería muy difícil llegar de otro modo, al tiempo que se obtienen conocimientos sobre cómo hacer más accesibles sus herramientas. Los activistas, artistas, educadores y organizadores de la comunidad valoran el acceso a los conocimientos técnicos que los académicos comparten durante las reuniones o a través del foro en línea.

Las iniciativas comunitarias adquieren una especie de legitimidad indirecta al estar «respaldadas» por la labor académica, a la vez que promueven una cultura científica abierta y basada en valores que sostiene las nuevas ideas que van surgiendo. Para los activistas y los organizadores comunitarios, la pertenencia a un movimiento global es útil en términos de credenciales y visibilidad, claves para conseguir fondos para sus actividades.

En cuanto a las **tensiones**, los fundadores y participantes clave provenientes del activismo mencionan que uno de los «inconvenientes» de ser quienes organizan la comunidad es el agotamiento. Este suele ser el caso de actores identificados con el marco conceptual de la justicia ambiental, que aportan sus herramientas y técnicas de deliberación a GOSH.

Por otra parte, aunque todos los participantes aprecian el enfoque basado en valores, en el pasado esto generó tensiones en el marco académico. Algunos consideran que el mensaje es demasiado radical y poco útil para fomentar el cambio

en sus instituciones. Especialmente en el caso de los participantes que trabajan en universidades de alto nivel, algunos se quejan de que el enfoque es demasiado amplio, como comenta un investigador suizo en una conversación informal: «*Quiero promover el HCA dentro de mi institución pero no puedo redirigir al Decano al Manifiesto o al sitio web de GOSH, es difícil entender dónde está el enfoque de la comunidad*».

Otras tensiones que surgen cuando los marcos más institucionales interactúan con los extra-académicos gira alrededor de la legitimidad del conocimiento. La promoción del HCA dentro del mundo académico encaja bien con los proyectos de ciencia ciudadana de las universidades, la ciencia abierta y las iniciativas educativas, pero le resulta difícil acercarse a los científicos «convencionales» dentro de las mismas instituciones. Este desafío está relacionado tanto con el desdibujamiento de los límites del expertise que incomoda a algunos investigadores, como con la visión del hardware abierto como instrumentos de bajo costo y baja precisión, por asociación al hobbismo. Por esta razón, dentro del marco de la ciencia abierta hay una constante búsqueda y promoción de casos de uso que sean lo suficientemente precisos y profesionalizados para ser utilizados por los científicos convencionales, a modo de prueba de que el HCA puede producir herramientas de alto nivel. Esta no es una prioridad para otros marcos, que se centran en la forma en que las tecnologías disponibles pueden ser utilizadas por las comunidades que las necesitan, en cómo se puede facilitar e impulsar este proceso y en el desarrollo de procesos de resignificación de la tecnología.

En palabras de Molloy, una de las fundadoras, esta interacción entre marcos es «*una negociación constante*», en la que aquellos que tienen menos interacción con las instituciones formales de producción de conocimiento parecen estar presionando constantemente para emerger y no ser invisibilizados por el resto, con un curso de acción más claro y convencional por delante.

6.4 Espacios

En las siguientes subsecciones se describen cuatro espacios diferentes abiertos por los activistas de GOSH para desarrollar sus actividades.

6.4.1 Proyectos de ciencia comunitaria

El monitoreo ambiental comunitario -que requiere herramientas de bajo costo, fáciles de usar y compartir, y procesos transparentes de generación de datos- es un terreno fértil para el desarrollo del HCA. Quizás el ejemplo más paradigmático sea Public Lab, una organización estadounidense sin fines de lucro que utiliza HCA y métodos de organización comunitaria para monitoreo ambiental, aunque existen muchos otros dentro y fuera de la comunidad, como CoSensores* o Vuela!, que forma parte del análisis en capítulos posteriores.

La comunidad de biohacking constituye otro importante espacio receptivo al HCA. El biohacking, DIY bio o Garage Bio se define como un movimiento de personas que realizan investigaciones en ciencias biológicas fuera de los entornos profesionales tradicionales como universidades y laboratorios corporativos. Adquirir herramientas y equipos para hacer ciencia fuera de la academia es costoso y difícil, en particular fuera de las instituciones. En una entrevista en 2019, Dusseillier, cofundador de la red de biohacking Hackteria, describe el propósito principal de sus primeros talleres y actividades: *«Desde el principio [el movimiento] se centró en la fabricación de equipos de laboratorio porque algunas de las herramientas, aunque digamos que podemos trabajar con la genética y salvar el planeta, no eran realmente accesibles»*. Hackteria y DIYBio son las redes de biohacking con más participantes alrededor del mundo: comunidades que producen, prueban y ponen en práctica artefactos desarrollados por entusiastas. Los desarrollos van desde simples incubadoras hechas con conservadoras, hasta máquinas de PCR y sets completos para comenzar un laboratorio de biología.

6.4.2 Investigadores en la academia

El movimiento de ciencia abierta se centra principalmente en los datos abiertos y el acceso a las publicaciones; el movimiento más amplio de hardware abierto discute temáticas orientadas a los makers y la industria. En medio de ambos, GOSH atrajo a académicos que utilizan o desarrollan HCA de forma marginal en sus instituciones, y no encontraban su lugar en esas comunidades relacionadas.

Uno de los espacios para el HCA en el mundo académico se encuentra entre los equipos de investigación e ingeniería altamente especializados, desarrollando o utilizando herramientas científicas de vanguardia. Este grupo incluye investigadores que realizan ingeniería reversa de herramientas propietarias, las modifican y crean sus propias versiones utilizando licencias abiertas, como una forma de fomentar

*<https://www.instagram.com/cosensores/>

la adopción y acelerar la innovación. Por ejemplo, el Laboratorio de Bio y Nano instrumentación de la EPFL (Suiza) hizo este proceso para un microscopio AFM. En entrevista con Molloy, la investigadora menciona su relación con el instrumental DIY: *«Hubo varias iniciativas en el campo del biohacking que me resultaron inspiradoras desde el punto de vista educativo, pero como científica experimental veía las limitaciones que los diseños podían ofrecer»*.

Otro espacio fue abierto por investigadores que trabajan en ciencias aplicadas con presupuestos reducidos, donde las herramientas propietarias no son una opción. La HCA es una forma de cubrir mayores áreas geográficas o aumentar el número de muestras analizadas con un presupuesto limitado. También es una forma de adaptar las herramientas a contextos muy específicos que inicialmente no fueron considerados por los diseñadores, como se puede observar en el caso Gorgas tracker en Perú, analizado en capítulos posteriores.

Retomando las motivaciones para crear HCA, Molloy también señala que, mientras trabajaba en una investigación con mosquitos, *«me sentía frustrada por el costo de los materiales que estaba utilizando para mis experimentos y el hecho de que los equipos eran inaccesibles para las personas que viven en zonas donde las enfermedades son endémicas»*. Estos argumentos también son mencionados por los entrevistados de América Latina y África, y se mencionan explícitamente en todos los documentos de la comunidad.

6.4.3 Educación e innovación social

El HCA ganó espacios en los que educadores con una visión crítica de los métodos de enseñanza tradicionales comenzaron a experimentar con tecnologías abiertas para el aprendizaje. Esto ocurrió tanto dentro como fuera de las instituciones de educación formal.

Dentro de las escuelas y universidades, en programas orientados a facilitar la educación STEM, el HCA se utiliza para desarrollar actividades pedagógicas basadas en desafíos concretos, acelerar la experimentación y la creación de prototipos en el aula. LEGO2NANO es un proyecto iniciado en 2013 con el apoyo del Centro de Nanotecnología de Londres y la Fundación LEGO, cuando un grupo de estudiantes de doctorado de China y el Reino Unido asumió el reto de construir un microscopio AFM abierto y de bajo costo. Con el objetivo de llevar la nanociencia a las aulas de las escuelas secundarias, los estudiantes fueron capaces de armar un prototipo funcional construido a partir de LEGO, Arduino, piezas hechas con impresión 3D y componentes electrónicos accesibles. El proyecto inspiró a otros en todo el mundo,

que comenzaron a implementar HCA en el aula (Heradio et al. 2018).

Grey, cofundador de GOSH y director de LEGO2NANO en sus inicios, recuerda la primeras conversaciones para desarrollar la iniciativa:

Había estado en contacto con la gente de la Fundación Lego, discutían sobre el concepto de «juego serio» y la importancia del aprendizaje práctico [...] Los estudiantes realmente progresaron bastante en la realización de un AFM de código abierto. Conseguimos mucha atención y lo repetimos el año siguiente, y el siguiente año. Lo interesante fue la idea de que podíamos hacer proyectos de hardware científico con los estudiantes y llegar a algún lugar significativo en poco tiempo.

Otro espacio se abrió en los numerosos proyectos educativos dirigidos por ONGs, comunidades y emprendedores alrededor del mundo que empezaron a utilizar HCA como un puente entre la educación y la innovación social. Kharkana y la Tech Academy son proyectos de educación extracurricular en Nepal y Bangladesh, respectivamente, que promueven la educación STEM a través de la colaboración, la experimentación y el juego. Sus estudiantes provienen de diferentes orígenes; en el caso de la Tech Academy, los estudiantes con familias con escasos recursos acceden gratis a través del pago de estudiantes de familias mejor posicionadas. En ambas iniciativas se utiliza un enfoque de aprendizaje práctico, destinado a fomentar la creatividad de los estudiantes mientras adquieren conocimientos sobre tecnología, aplicándolos a la elaboración de soluciones para sus problemas locales. Los proyectos de los estudiantes suelen participar en concursos internacionales de innovación, muchas veces relacionados con los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas.

6.4.4 Artistas

Los artistas que trabajan en la interfaz de la ciencia y el arte utilizan herramientas de HCA para diferentes usos: biomateriales y textiles abiertos, experiencias audiovisuales con HCA e incluso comunicaciones entre especies. El HCA en este espacio gana gracias a su metodología de prototipado rápido que permite la experimentación a bajo costo, pero también por el acceso a documentación que permite a los artistas aprender cómo funcionan las herramientas. Los artistas sin afiliación institucional son uno de los grupos que enfrentan barreras de acceso para acceder al conocimiento sobre las herramientas de la ciencia.

Interspecifics es un proyecto nacido en México que se define como un «*colectivo nómade multiespecie que experimenta en la intersección entre el arte y la ciencia*»; las artistas transforman las señales eléctricas de diferentes bacterias en sonidos audibles. Al no estar afiliadas a ninguna institución científica, para ellas el acceso a las publicaciones suele ser pago. Por lo tanto, usar HCA abierto de vuelve indispensable; a manera de retribución documentan completamente todo su hardware y otros desarrollos.

6.5 Estrategias

En esta sección se presentan las estrategias que GOSH desarrolla para llevar a cabo su visión y abrir espacios para sus actividades, clasificadas en tres grupos principales: redes e intermediarios, repertorios de acción y movilización de recursos.

6.5.1 Redes e intermediarios

GOSH es una **red de redes** con nodos en el mundo académico, las organizaciones de la sociedad civil y el emprendedurismo. Esta configuración incluye organizaciones sin fines de lucro, instituciones de financiación, institutos de investigación y universidades, espacios de innovación abierta, artistas, innovadores sociales y educadores de todo el mundo.

La red sirve de plataforma para aumentar la visibilidad y comunicar las actividades de los proyectos y nodos a nivel internacional. Entre ellas figuran presentaciones en espacios académicos y no académicos, artículos de prensa (Brazil 2018), difusión de residencias y eventos regionales a través del blog de la comunidad, difusión a través de redes sociales. Las reuniones regionales suelen utilizar los canales de la comunidad global para amplificar su mensaje y llegar a públicos diferentes.

Además de la internacionalización y la ampliación de las audiencias, los nodos de la red GOSH intercambian información a través de intermediarios clave. Las enseñanzas que se comparten son de carácter técnico, pero también organizativo. Casi todos los entrevistados mencionan que forman parte de diferentes proyectos colaborativos internacionales: investigadores de Alemania van a Chile a organizar [talleres](#) en las universidades, investigadores de Chile van a Camerún, aportando no sólo equipos sino también una metodología reproducible que posteriormente puede ser apropiada por los locales. Investigadores en el Reino Unido [colaboran](#)

[directamente](#) con los participantes y organizadores de GOSH en los países africanos.

6.5.2 Repertorios de acción

La principal estrategia desarrollada por GOSH durante sus primeros tres años de vida fue la organización de reuniones globales. Las reuniones se utilizan como un instrumento para deliberar, aprender, hacer y definir los valores, estrategias y acciones para que el colectivo avance. Desde la primera reunión, cada encuentro se utilizó como punto de partida para elaborar la estrategia de colaboración: el manifiesto en 2016, la hoja de ruta en 2017 y el plan de acción en 2018. Los métodos utilizados para lograrlo se basan en estrategias organizativas del activismo comunitario cuyos productos se documentan abiertamente; son así replicados en los nuevos eventos que surgen en diferentes partes del mundo.

Los mecanismos intencionalmente definidos para asegurar y proteger la diversidad de los participantes durante las reuniones pueden considerarse una estrategia en sí misma. La diversidad permite al colectivo tener «representantes» de casi todas las áreas que aportan sus visiones GOSH. Esto convierte al colectivo en un espacio de deliberación y referencia, como se puede ver en las crecientes solicitudes de entrevistas por parte de la prensa y la aparición en los [documentos de otras comunidades](#).

6.5.2.1 Estratégicamente diverso

Que GOSH tenga como campo de disputa la infraestructura más básica de producción de conocimiento explica por qué apela a una diversidad de públicos. Dado el monopolio académico de la producción de conocimiento, y en particular las asimetrías en la producción, todos aquellos que ven su capacidad de producir conocimiento científico limitada, presentan algún grado de interés en la propuesta de GOSH. Esto lo vuelve un terreno de diálogo entre actores no académicos y académicos provenientes de contextos diferentes, con objetivos educativos, de negocios, comunitarios, artísticos.

La colisión de formas de ver el mundo da lugar a una pluralidad de perspectivas que informan la actividad y el discurso del movimiento. La redacción del manifiesto ejemplifica esta situación perfectamente: luego de tres días de conocerse, intercambiar conocimientos, ideas y expectativas en el primer encuentro global, un representante del activismo y otro de la academia/emprendedurismo se juntan para sintetizar los valores del futuro movimiento. Con muy poco en común, delinean

una serie de puntos que luego son discutidos con el resto de los participantes, lo publican online y lo firman. El manifiesto presenta puntos que se relacionan muy claramente a la concepción más académica del HCA: reproducibilidad, basta de cajas negras, 1000 ojos ven mejor que uno. Pero principalmente se nutre de ideas de democratización de la tecnología, de ciencia aplicada a problemas locales, de accesibilidad, inclusión y producción de conocimiento por fuera de circuitos formales.

Este panorama tan plural sostiene y explica la estrategia de fomento de la diversidad que estructura todo el trabajo del movimiento. La diversidad se vuelve una ruta obligada en GOSH, si se pretende garantizar la representatividad y legitimidad del mensaje. Uno de los aspectos más interesantes es cómo las metodologías que los participantes aplican al diseño de artefactos también se puede rastrear en las prácticas organizativas. Los eventos de GOSH con su agenda de desconferencia colaborativa, la redacción iterativa de los documentos estratégicos, la apertura como forma de crecer de manera descentralizada en diferentes geografías, la modalidad de participación esporádica. El movimiento avanza a medida que algunos miembros pueden dedicar más tiempo que otros a tareas que les resultan de interés, aunque las grandes decisiones siempre se consultan con toda la comunidad. Todos los participantes identificaron este tipo de prácticas organizativas como el factor diferencial entre GOSH y otras comunidades en ciencia o tecnología. En particular, los actores académicos identificaron estas estrategias como el mayor aprendizaje que obtienen de GOSH, y que aplican en sus trabajos.

GOSH pretende construir un movimiento global, y como tal la estrategia de la diversidad responde no sólo a una cuestión normativa, es también altamente eficaz. Construir un mensaje a partir de la academia probablemente fuera más rápido pero su falta de representatividad generaría un impacto pequeño. Grey plantea algunos interrogantes sobre estrategia basada en la diversidad de GOSH:

Creo que el desafío es también el tipo de efecto burbuja, que no se convierta en una cámara de eco: tenemos estos valores, así que somos nosotros contra el mundo; ¿qué pasa si traes a gente que no tiene esos valores? ¿Cómo va a funcionar eso?

Otro componente importante de la estrategia de los eventos es la combinación de la **actividad material y la actividad reflexiva**. El setenta por ciento del programa se define durante la reunión, combinando talleres prácticos sobre la construcción y el uso de HCA con sesiones de debate sobre temas elegidos por los participantes e instancias de deliberación en grupo. Diferentes personas van a las

actividades que respondan más a sus intereses, contribuyendo con sus diferentes perspectivas.

Los resultados de la deliberación comunitaria se traducen en **documentos colaborativos disponibles en línea**, lo que amplía el mensaje en línea, actúa como estrategia de legitimación al ampliar la base de colaboradores y es útil como una pieza de comunicación en sí misma, promoviendo la actividad del movimiento.

La identificación y visibilización de «**casos de uso**» constituye otra estrategia importante en GISH. El microscopio Open Flexure, que se analiza en los próximos capítulos, es presentado por la comunidad como un caso de uso exitoso de HCA. Fue creado por académicos de la Universidad de Bath que desarrollaron una colaboración con académicos y organizadores comunitarios en Tanzania (Stirling y Bowman 2020). El instrumento ha sido reproducido íntegramente por los socios en Tanzania utilizando materiales disponibles localmente. Este tipo de artefactos conectan a los actores a nivel global mediante narrativas poderosas, condensando los valores de la comunidad y constituyendo piezas de comunicación eficaces. El microscopio OpenFlexure ha aparecido en medios masivos de comunicación, además de circular en publicaciones académicas y comunitarias.

La definición de un programa de investigación sobre HCA y la creación de revistas científicas con referato gestionadas por la comunidad es otra estrategia relacionada no sólo con la reflexión sobre la actividad del movimiento sino también con la búsqueda de legitimidad dentro de las normas académicas y la demostración del rendimiento superior del HCA frente a los equipos patentados.

6.5.3 Movilización de recursos

Los recursos **financieros** se obtienen principalmente mediante el acceso a becas y subsidios de fundaciones en el espacio de las tecnologías abiertas con sede en los Estados Unidos. Participar de un evento GOSH es gratuito para los participantes, aunque se sugiere pagar una tasa para contribuir a cubrir los gastos de asistentes no afiliados a instituciones. El apoyo financiero para las actividades de GOSH en América Latina proviene de donaciones del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Para organizar AfricaOSH, Mboa recuerda que los organizadores tuvieron que financiar personalmente el evento: «*La idea principal era apoyar a los africanos que viven en África para que asistieran al evento, y eso es un gran desafío*». La financiación para el desarrollo de proyectos también proviene de campañas de financiamiento colectivo.

Dado que muchos participantes de GOSH trabajan en universidades o espacios comunitarios, fablabs, makerspaces y otros **espacios** de fabricación suelen ser accesibles para la comunidad a bajo costo o gratuitamente. Los **materiales** para la construcción de hardware, cuando no están cubiertos por los subsidios de los proyectos, suelen obtenerse mediante el patrocinio de proveedores de electrónica.

En cuanto a los recursos no materiales, GOSH funciona completamente a fuerza de trabajo voluntario, del que depende para diferentes funciones. Las aptitudes de **liderazgo, organización y comunicación** son recursos clave para el desarrollo de GOSH, que se han movilizad o principalmente desde los participantes que también resultan ser organizadores comunitarios. En este sentido, Austic resalta que: *«Teníamos gente en la sala que sabía cómo hacer estas cosas [colaboración, desconferencia]»*.

Para construir hardware se requieren conocimientos **técnicos** que se movilizan desde expertos de la comunidad a través del foro de GOSH o participando directamente como intermediarios clave, transmitiendo lecciones a otros proyectos o conectando con otros expertos. Los conocimientos técnicos suelen ser reconocidos como crédito en los diseños o artículos científicos.

La **confianza** es otro recurso importante que se moviliza principalmente desde los fundadores originales de GOSH, cuya imagen permite el acceso a subsidios pero también visibilidad a través de artículos de prensa y redes sociales. El acceso a redes prestigiosas actúa como un recurso de legitimidad para el exterior. Los entrevistados mencionan que el hecho de que actores «serios» participan en GOSH (importantes universidades, organizaciones sin fines de lucro, instituciones de investigación, investigadores) contribuye a que puedan desarrollar HCA en sus propias instituciones. En una entrevista con Andre Chagas en 2019, quien participa en GOSH desde sus inicios, esto se menciona claramente: *«todas estas iniciativas que están haciendo HCA desde lugares “respetables”, y añado las comillas porque hay muchas otras iniciativas que vienen de otros lugares que deberían ser igual de respetadas, esto es lo que promueve que avancemos»*.

El posicionamiento de GOSH como parte del discurso de otros movimientos moviliza recursos en términos de **cultura y conocimientos compartidos**: atrae a personas de esas comunidades, proporciona vocabulario y narraciones, facilita la transferencia de lecciones y la visibilidad. Esta estrategia puede observarse en los artículos de prensa académica en los que se presenta a GOSH como un subgrupo del movimiento de ciencia abierta, o cuando se presenta a un público maker y se utiliza vocabulario relacionado a ese movimiento. Son numerosas las instancias de participación de activistas GOSH en conferencias de ciencia abierta como OpenCon,

realizando talleres de hardware abierto. El conocimiento compartido también es pertinente, por ejemplo, cuando se toman los modelos de negocio desde la industria del software de código abierto como punto de partida para estudiar posibles modelos comerciales para el HCA.

El contacto con el movimiento de tecnología apropiada, los estudios feministas, poscoloniales o los movimientos de justicia ambiental son algunos ejemplos de movilización de recursos en términos de **tradición histórica** e **ideología**, que contribuyen a que los actores puedan acercarse a otros movimientos desde un lugar de aliado. Este es el caso por ejemplo de las iniciativas de HCA trabajando con movimientos por la agroecología en América Latina, como el trabajo del nodo Mendoza en reGOSH y la comunidad de campesinos sin tierra.

6.6 GOSH como nicho estratégico

La pregunta que inicia esta discusión refiere inevitablemente a qué factores permiten leer a GOSH como un movimiento que cuenta con el potencial de influir en la forma en que se produce hoy el conocimiento. El marco teórico propuesto en el capítulo 3 mira a GOSH como un movimiento de innovación de base: originado en actores de la sociedad civil, con una demanda política de cambio social y articulando nuevas formas materiales y discursivas de producción de conocimiento. El componente de transiciones del marco teórico resulta útil para entender cómo GOSH conforma un movimiento viable o «estratégico», capaz de sobrevivir las primeras etapas de su formación e influir en el status quo. A partir de estudios históricos algunos autores (Hoogma et al. 2002, @seyfangGrassrootsInnovationsSustainable2007) han identificado cuáles son los rasgos salientes de este tipo de nichos, que deben ser capaces de:

1. articular sus expectativas y visiones de manera sólida y específica,
2. construir redes sociales profundas y amplias,
3. contar con intermediarios clave para intercambiar lecciones y
4. favorecer el aprendizaje secundario en áreas clave, adaptando sus expectativas y acciones en consecuencia.

Los resultados descritos anteriormente permiten indagar en estos diferentes aspectos. En primer lugar, el estudio del movimiento permitió identificar una pluralidad de ideas que informan el pensamiento colectivo de GOSH. Lo más interesante en referencia al punto i) resulta el análisis de estrategias a nivel colectivo que permitieron al movimiento articular estas diferentes expectativas

y visiones. Las metodologías de discusión, colaboración y síntesis colectivas, principalmente facilitadas por actores del activismo, abrieron el diálogo y permitieron la identificación y articulación de los puntos comunes. Estos acuerdos, sintetizados en documentos abiertos y colaborativos, «vivos», se comunican al mundo exterior a través de diversos medios: editoriales en publicaciones prestigiosas como *Nature*, conferencias de alto impacto sobre tecnología para desarrollo como UN-Tech4Dev, foros de comunidades independientes de hacktivistas.

La reconstrucción histórica del capítulo 5 permite ver cómo la articulación de acuerdos ha ido evolucionando y adquiriendo especificidad a lo largo de los años. Desde acuerdos básicos sobre valores compartidos en el manifiesto, hacia una hoja de ruta con ejes principales de trabajo y más adelante la asignación concreta de tareas a grupos de trabajo específicos. Una vez más, el factor relevante es cómo el colectivo se auto organizó para sintetizar cada vez acuerdos más específicos y a la vez entre más actores, identificando necesidades tanto técnicas como de organización, a medida que sumaba participantes en diferentes regiones.

Uno de los factores mencionados más frecuentemente por todos los entrevistados es la capacidad de los participantes de GOSH de crear redes. La diversidad de actores y el alcance global permiten que por un lado estas redes sean amplias: el colectivo está vinculado a actores a nivel local, regional e incluso internacional de diversa índole; los actores incluyen a profesionales pero también a empresas, instituciones académicas y organizaciones de la sociedad civil. Por otra parte, el análisis muestra cómo esas redes también son profundas. Los participantes pueden movilizar diferentes tipos de recursos a partir de pertenecer a ellas. Las estrategias de movilización de recursos muestran cómo participantes de alto perfil dentro del movimiento intermedian para obtener subsidios, cómo la participación de activistas facilita la confianza de nuevas comunidades, o cómo las publicaciones de académicos aumentan la credibilidad del movimiento.

La presencia de intermediarios clave es evidente a diferentes niveles. Los múltiples intercambios entre los participantes proporcionan no sólo conocimientos técnicos, también organizativos. A modo de ejemplo, la colaboración entre Open Flexure y Gorgas tracker les permite a ambos grupos acceder a nuevas habilidades entre los colaboradores, como se analiza en próximos capítulos. Pero también existe un intercambio de ideas sobre cómo avanzar en términos organizativos en la producción de hardware de calidad en la academia. Las discusiones en foros online de participantes en un hackerspace en Suiza permiten que comunidades activistas en Argentina mejoren proyectos de análisis de suelo utilizando metodologías abiertas.

Finalmente, la cronología presentada en el capítulo anterior el análisis de los hitos

del movimiento muestran evidencias de aprendizaje secundario. GOSH sistematiza las lecciones aprendidas luego de cada decisión y adapta sus acciones, expectativas y estrategias en consecuencia. La decisión de convertirse en un movimiento global después del primer evento en CERN se produjo a partir de los resultados de una autoevaluación que señalaron la falta de diversidad en los participantes; la decisión de conectar con actores relacionados a la industria en el tercer evento en China, fue una respuesta a una necesidad percibida por los participantes en Chile y otros foros de debate para ampliar sus proyectos. La decisión de descentralizar las actividades es una alternativa discutida durante el último evento global para evitar el agotamiento de los miembros clave del movimiento; todo ello muestra cómo las acciones en el movimiento son adaptativas.

6.7 Resumen del capítulo

Este capítulo contribuye al objetivo de comprender de qué manera el movimiento global por el hardware científico abierto (GOSH) puede constituir un nicho estratégico de innovación. Para ello, a partir de material de entrevistas realizadas durante 2018 y 2019, observación participante y análisis documental se describió el contexto en el que surge el movimiento, los marcos conceptuales aportados por los actores, los espacios que éstos abren y las estrategias que utilizan para hacerlo.

Los resultados del análisis del caso global incluyen:

- descripción de las ventanas de oportunidad que permitieron el surgimiento y crecimiento de GOSH como nicho de innovación
- identificación de principales grupos y marcos conceptuales que se articulan en GOSH, tensiones y contribuciones a la acción colectiva
- caracterización de espacios donde GOSH desarrolla sus actividades de manera sostenida
- análisis de las estrategias utilizadas por los actores para abrir dichos espacios, incluyendo su habilidad para construir redes amplias y profundas, la presencia de intermediarios clave y la evidencia estrategias adaptativas

En los siguientes capítulos la escala de observación se mueve desde el movimiento global hacia proyectos individuales que forman parte de GOSH y desarrollan sus actividades tanto en contextos académicos como comunitarios de la periferia.

Capítulo 7

Análisis de proyectos GOSH

7.1 Introducción al capítulo

Las preguntas de investigación 2 y 3 de esta tesis exploran cómo el hardware científico abierto contribuye a democratizar la producción de ciencia y tecnología en términos de participación en el proceso y producción de conocimiento y construcción de capacidades, en particular aquellas necesarias para la producción de conocimiento y tecnologías altamente contextualizados. Este capítulo contribuye a estos objetivos presentando los resultados de cuatro estudios de caso, correspondientes a proyectos que se desarrollan en el sur global y forman parte del movimiento por el hardware científico abierto (GOSH).

Los resultados que se presentan derivan del trabajo empírico realizado entre 2018-2020. De acuerdo al diseño de la investigación presentado en el capítulo metodológico, la unidad de análisis en este capítulo es el proyecto. Cada proyecto se categoriza de acuerdo a su contexto de implementación en dos bloques: académico o comunitario.

El capítulo está compuesto por los cuatro casos de estudio:

1. Gorgas tracker (bloque académico)
2. Open flexure (bloque académico)
3. Vuela (bloque comunitario)
4. Kossamtor (bloque comunitario)

Dentro de cada caso se presentan los resultados del análisis según las dimensiones definidas en la metodología; cada uno finaliza con una figura que sintetiza estos

resultados por cada dimensión.

7.2 Proyecto Gorgas tracker

Bloque: Proyectos académicos

7.2.1 Introducción al caso

Gorgas tracker es un proyecto que tiene como objetivo explorar el rol de la movilidad humana en la transmisión de malaria. Nace en 2016 a partir de la iniciativa de Gabriel Carrasco-Escobar, investigador en epidemiología en el Instituto de Medicina Tropical de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH) y fue co-dirigido con Pierre Padilla-Huamantico, investigador en ingeniería biomédica de la misma casa de estudios.

Carrasco-Escobar había leído un estudio realizado en África donde se utilizaban teléfonos celulares para evaluar cómo los patrones de movilidad de la población podían relacionarse con la transmisión de la enfermedad. Esta idea lo motivó a formular un proyecto con una lógica similar pero trabajando con poblaciones indígenas de la amazonia peruana. Sin embargo, rápidamente pudo comprobar que los métodos no eran replicables en la nueva zona de estudio: en la Amazonia no hay internet, red de telefonía ni ninguna de las otras herramientas que usaban los equipos africanos para evaluar la movilidad de la población. La opción disponible era utilizar localizadores GPS, importados a un costo aproximado de 100 USD cada uno.

El proyecto se presentó a un concurso de la UPCH, que lo aceptó y otorgó un subsidio por 10 mil dólares como «fondo semilla». Con un presupuesto reducido y buscando el mayor impacto posible, en 2017 Carrasco-Escobar invita a Padilla-Huamantico a desarrollar un dispositivo abierto específico para el proyecto, que cumpliera con los requerimientos de la investigación. Hasta ese momento Padilla-Huamantico trabajaba en UPCH desarrollando tecnologías abiertas para salud pública, habiendo participado del encuentro GOSH en Chile y formando parte de otras redes donde se trabajan tecnologías abiertas, como el MIT Bio Summit.

El equipo de trabajo interdisciplinario se constituyó con Carrasco-Escobar liderando la investigación desde el punto de vista epidemiológico, Padilla-Huamantico a cargo del desarrollo técnico del dispositivo, la colaboración de investigadores asistentes como el Ing. Edgar Manrique Valverde y el trabajo de estudiantes para

llevar adelante la fase a campo.

En 2018 el equipo realizó la prueba piloto de funcionamiento de los dispositivos. En un período de casi dos meses se hizo el seguimiento de 50 miembros de distintas comunidades originarias en la región de Loreto. El área de estudio abarca seis comunidades en dos cuencas hidrográficas: el río Mazán (comunidades de Gamitanacocha, Libertad y Primero de Enero) y el río Napo (comunidades de Salvador, Lago Yurac Yacu y Urco Miraño). En el último estudio publicado se analizaron datos de 20 personas, representando el 40% de la población de la comunidad de Gamitanacocha.



Figura 7.1: Gorgas tracker: participantes utilizando el dispositivo (fuente: proyecto Gorgas Tracker)

Los resultados del piloto y el desarrollo del prototipo, publicados en revistas internacionales, muestran que la movilidad de las personas tiene efectos significativos sobre la transmisión de malaria, y que el desarrollo del dispositivo resultó útil para poder hacer el estudio en la zona. Además, sugieren que las estrategias de control implementadas por Salud Pública en la región presentan limitaciones.

A partir del proyecto el equipo entró en contacto con funcionarios involucrados con el Plan Malaria Cero del Ministerio de Salud, y logró incorporar la movilidad humana como uno de los factores relevantes para la política de control de la malaria en Perú. A partir de estos resultados, en 2019 se crea el «Laboratorio de Innovación en Salud» en la UPCH, co-dirigido por Carrasco-Escobar y Padilla-Huamantínco.

7.2.2 Producción propia

Gorgas desarrolla tres estrategias principales de trabajo: metodologías iterativas y colaborativas, diseño basado en la usuaria y diálogo interdisciplinario con división de tareas. Esto le permite producir artefactos que responden a la necesidad de los investigadores, son localmente reparables y modificables, y toleran las condiciones de uso impuestas por el contexto.

7.2.2.1 Trabajo iterativo y colaborativo

Gorgas implementa una forma de trabajo que internaliza el proceso de fabricación de equipos en el Laboratorio de Biodiseño de la UPCH, con los investigadores en el rol de usuarias/desarrolladoras, y los agentes de promoción en salud y miembros de la comunidad indígena como usuarias finales (y sujetos del estudio). Las interacciones entre estos tres grupos se dieron en dos etapas: primero los investigadores tomaron el rol de usuarias frente a los desarrolladores del Laboratorio de Biodiseño a cargo de Padilla-Huamantínco; una vez superada esta etapa se realizaron pruebas directamente con la comunidad.

La iteración en dos grandes etapas permitió diseñar un dispositivo que respondiera a las necesidades del estudio en primer lugar, y luego que pudiera ser adoptado por los sujetos del estudio, considerando que iban a tener que encontrarlo cómodo y poco disruptivo de sus tareas diarias para alcanzar un alto porcentaje de uso. En ambas etapas la metodología de trabajo es iterativa, a prueba de conceptos y error, en ciclos. Las herramientas de prototipado rápido permitieron contar con versiones mejoradas incrementalmente, producidas en ciclos cortos y probadas frecuentemente con las diferentes usuarias en cada paso. Una vez definida la versión final, el equipo ensambló y soldó 70 dispositivos de los que se utilizaron finalmente 50. En una entrevista realizada en 2020 con Carrasco, el investigador recuerda el proceso de prueba que lo tuvo del lado de la usuaria:

a nosotros nos dieron tres dispositivos para que juguemos [...] les dije a mis estudiantes «traten de romperlo, de apretar todos los botones, de someterlo a un estrés suficiente como para que no funcione» [...] y estaba bien en ese momento porque si eso pasaba a campo, iba a ser un desastre.

La decisión de construir equipos propios se tomó en base a la experiencia previa que el grupo de Padilla-Huamantínco tenía trabajando con gestantes rurales y

dispositivos de comunicación. Este trabajo se basaba en rePhone*, una plataforma de telefonía de código abierto desarrollada por la compañía china SeedStudio. RePhone es un «teléfono do-it-yourself» diseñado de forma modular que permite la personalización total del dispositivo, agregando o quitando los módulos bluetooth, GPS, pantallas, o audio. La propuesta original incluye el armado de una caja en cartón para contener los módulos. En una entrevista en 2020, Padilla-Huamantínco comenta qué criterios utilizaron para decidirse por el rePhone:

primero evaluamos qué opciones teníamos que pudieran ser programables, que pudieran tener estas capacidades GPS y que sean pequeñas y portables [...] encontramos el rephone, una plataforma que había sido lanzada por Kickstarter y que logró ser financiada, y que Seed Studio lanzó como producto en su tienda

El proceso de ideación de Gorgas a partir de la adaptación del rePhone incluyó el desarrollo de mejoras tanto en términos de funcionalidades como de usabilidad. El primer trabajo consistió en entender qué módulos del rePhone eran útiles a los objetivos del estudio, qué funcionalidades extra se podrían necesitar, y cómo diseñar una carcasa que tolerara altas condiciones de temperatura y humedad sin ser totalmente hermética, para poder captar la señal GPS.

El desafío de la carcasa implicó sucesivas iteraciones. Fabricada en impresión 3D, uno de los primeros diseños consistió en una caja conteniendo los componentes que podía colocarse en el cinturón. El testeo con los vecinos hizo descartar esta idea, ya que el dispositivo resultaba demasiado grande y que no les gustaba usarlo así: los hombres comenzaron a usarlo en sus bolsillos, las mujeres lo ponían en sus carteras. Esto disparó nuevas pruebas, ya que este nuevo uso impedía la captación de la señal GPS; luego de sucesivas iteraciones el equipo acondicionó la caja agregando silicona para poder cubrir huecos y hacerla lo más resistente al agua posible, e incorporó una antena de mayor recepción. Esto solucionó el problema de recepción pero no el tema del tamaño, que era una de las principales quejas de los pobladores y constituye una de las próximas mejoras a implementar en la próxima iteración.

Una de las mejoras clave en el diseño para poder responder al uso de los investigadores es la optimización del uso de energía. Uno de los problemas con el rePhone es que la batería con la que viene por defecto es insuficiente para el estudio, que demandaba que el dispositivo estuviera sin cargar por una semana. A partir de examinar el hardware y el software del rePhone, el equipo identificó una modalidad de uso del hardware que permite optimizar el uso de la batería,

*<https://wiki.seedstudio.com/RePhone/>

logrando que dure los siete días requeridos por el estudio. Una entrevista en 2020 con Manrique expone por qué la necesidad de la batería larga duración:

teníamos la limitación técnica de que la batería dure por lo menos una semana [...] muchas personas viajan y pues durante el viaje no van a tener un lugar donde cargar el GPS; necesitábamos que la batería dure lo suficiente como para que viajen y regresen de su viaje.

Otra de las demandas del proyecto de investigación era que el artefacto pudiera detectar cuándo una persona salía de un área de interés, una funcionalidad que excede la de un GPS convencional. Para ello el equipo desarrolló software capaz de definir el área de interés y almacenar cuándo sucedían estos eventos de salida. Para facilitar la tarea del personal a campo, se creó una interfaz gráfica para ser utilizada cuando se conecta el dispositivo a una tablet o computadora con cable USB. A través de ella se podían descargar los datos recolectados, visualizarlos y también modificar los parámetros, por ejemplo de ahorro de energía. El personal de campo de la investigación tenía nivel de educación superior y sabía utilizar computadoras. Sin embargo, este no era el caso de todos los trabajadores del sistema de salud. El desarrollo de una botonera que permitiera contar con una interfaz física fue una de las estrategias para mejorar la usabilidad de Gorgas. Carrasco-Escobar comenta sobre una de las innovaciones más importantes de Gorgas, una función «reportero» que generaba una señal luminosa para indicar distintos resultados según un código de colores, en lugar de solo poder verlo vía software:

el ministerio de salud emplea agentes comunitarios en salud [...] son personas locales de las mismas comunidades que muy probablemente no sepan lo que es la computadora [...] el sistema binario nos parecía esencial para poder comunicarnos con ellos

7.2.2.2 Diseño basado en la usuaria

Uno de los objetivos principales del proyecto fue garantizar la adopción por parte de las usuarias finales, lo que justifica la aproximación de diseño basado en la usuaria. Los agentes promotores de salud otorgaban los dispositivos a los vecinos de la comunidad, que los utilizaban durante una semana y luego los intercambiaban por dispositivos cargados en el puesto de salud. En estas visitas, dependiendo de los resultados del geolocalizador, se realizaba una extracción de sangre y diagnóstico de malaria al participante. Al menos un trabajador de campo siempre estaba en la

comunidad, durante todo el tiempo del estudio, incentivando el uso del dispositivo entre los vecinos. Manrique explica cómo era el procedimiento del estudio:

en la primera visita se les entrega al GPS y para la siguiente visita a los 7 días de nuevo se les hacía un diagnóstico, una encuesta y se recogía el GPS [...] esos GPS los llevamos a nuestro punto de acopio en esa misma comunidad, descargamos la información, los cargamos y se los volvíamos a entregar ese mismo día

La primera fase de testeo del dispositivo se hizo en el campus de la UPCH, con el equipo de investigación en el rol de usuaria. Una vez superada esta etapa se pasó a la fase de testeo a campo, con varios encuentros tanto con los promotores de salud como con los vecinos, futuras usuarias. Más allá de las visitas casa por casa, las reuniones también se hacían con toda la comunidad en el colegio o en un local de usos generales. Manrique, a cargo de la implementación a campo, comenta cómo se gestionó el acceso a la comunidad:

contactamos al jefe de la comunidad donde hicimos el estudio que es como el alcalde o gobernador de la comunidad [...] le comentamos acerca del proyecto, le dimos un dispositivo, para que lo pueda entender, sentir que era lo que estaba pasando

Esos intercambios permitieron al equipo entender de primera mano algunas cuestiones que podían llevar a los participantes a no usar el dispositivo. La mayoría de los pobladores se dedican a la pesca, a la agricultura o a la caza. Si el diseño resultaba incómodo para usar durante la jornada de trabajo, se podía golpear, los cables podían desconectarse o romperse. Padilla-Huamantínco comenta cómo rápidamente surgieron diferencias entre las propuestas del equipo investigador y los vecinos de la comunidad en torno al diseño:

Nosotros lo habíamos hecho rojo [al dispositivo] porque si se caía en la selva, se perdía, era fácilmente distinguible [...] pero para ellos era no tan bueno, porque todo el mundo se iba a dar cuenta que estaban utilizando un GPS

Las mujeres de la comunidad jugaron un rol decisivo en el diseño del dispositivo, principalmente dando consejos sobre cómo cuidar el artefacto. Para evitar que el resultado del reportero influyera en los vecinos y sus patrones de movimiento (según

el resultado se les extraía sangre o no), el equipo había agregado un botón para obtener el resultado sólo cuando el promotor de salud quisiera. Los niños de la comunidad encontraron el botón y comenzaron a desarmarlo por pura curiosidad, situación que las mujeres detectaron rápidamente. Manrique comenta cómo esta situación llevó a un rediseño para ocultar el funcionamiento a la usuaria final:

el dispositivo tenía un botón que prende una luz para saber si es que las personas han salido o no de la comunidad [...] Inicialmente ese botón era de fácil acceso, y varias personas bastante curiosas se ponían a presionarlo a cada rato [...] finalmente decidimos que el botón tenía que estar relativamente escondido para que no pudieran de casualidad dañar el equipo.

Las contribuciones de los participantes no fueron sólo en términos de respuesta o sugerencia al equipo de investigación, también adaptaron el diseño activamente para poder utilizarlo mejor. En uno de los casos, dos vecinos de la comunidad se vieron en la situación de que la banda elástica que sostenía el dispositivo se dañó. Para repararla, la cosieron ellos mismos, pero además la alargaron y comenzaron a usar el dispositivo en forma de bandolera, sobre el hombro. Los vecinos también sugirieron colocar los dispositivos en los botes que utilizan normalmente como medio de transporte. Esta sugerencia está siendo evaluada, ya que sería una forma de evaluar la conectividad entre comunidades que el equipo investigador no había considerado y que puede brindar perspectivas interesantes. Carrasco-Escobar comenta sobre el peso en el proyecto de estas devoluciones por parte de la comunidad:

Diría que las iteraciones más sutiles fueron las que obtuvimos de campo, pero fueron las que tuvieron mayor impacto en el resultado final

7.2.2.3 Usuarias-sujetos y usuarias-desarrolladoras

La posibilidad de fabricar un dispositivo dentro de la universidad reconfiguró las posibilidades del equipo de investigación habilitando nuevos usos en comparación con la versión estándar disponible en el mercado. Otros grupos de usuarias, como los promotores de salud y la comunidad indígena adquirieron nuevas posibilidades de uso con algunos rediseños como la interfaz física, pero vieron limitados algunos otros por ejemplo a través del ocultamiento del botón. Esto en parte se relaciona a las características de esta investigación en particular: las usuarias finales son sujetos del estudio.



Figura 7.2: Gorgas tracker: vista del interior del dispositivo (fuente: proyecto Gorgas Tracker)

El hecho de diseñar un dispositivo propio permitió realizar pruebas con las usuarias, en particular con los vecinos de las comunidades. Las mujeres de la comunidad tomaron un rol clave en poder diseñar un dispositivo que pudiera ser utilizado de manera eficaz por parte de todos los vecinos. Sin embargo, el nivel de participación de las comunidades en el estudio fue limitado. Carrasco comenta las observaciones que las mujeres de la comunidad hacían sobre el diseño:

notamos que las mujeres nos daban más consejos sobre cómo tener cuidado con el dispositivo y es porque ellas pasan más tiempo con los niños, entonces sabían a todos los peligros que están expuestos los dispositivos y eso fue bastante útil para nosotros

Carrasco-Escobar menciona también como en las próximas etapas uno de los objetivos es incorporar más requerimientos hechos por la comunidad, como ser la reducción del tamaño del dispositivo, o el agregado de funcionalidades:

[los pobladores] en casi todas sus actividades diarias utilizan una radio, porque además de escuchar música y entretenerse es el único medio de comunicación que les llega [...] hoy Gorgas le sirve a los investigadores y al sistema de salud [...] creo que sí hacemos el switch a combinar el dispositivo con una radio finalmente les va a ser útil a ellos también.*

Las estrategias implementadas para incrementar la participación de los pobladores incluyeron la organización de talleres al inicio del proyecto para explicar cómo se iban a realizar las tareas e intentar un alto grado de adhesión. También se hizo un taller de cierre con la comunidad donde se comunicaron los resultados de forma accesible, seguido de una conversación abierta.

Un punto a señalar es la significativa ausencia o minoría de mujeres en el grupo investigador. El actual Laboratorio de Innovación en Salud cuenta con un 20% de investigadoras mujeres según su página web*, sin embargo no fueron mencionadas como parte del equipo en las entrevistas. En cuanto a la colaboración online, la estrategia del equipo es detectar potenciales colaboradores ya sea en eventos académicos o a través de redes como GOSH, e invitarlos al grupo de Slack del laboratorio.

La documentación del proyecto fue publicada en GitHub[†] en idioma inglés, una vez que se llegó a la versión final del dispositivo, pero no se obtuvieron colaboraciones

*<https://investigacion.cayetano.edu.pe/catalogo/biotecnologia/innov-lab#investigadores>

†https://github.com/healthinnovation/gorgas_tracker

significativas por esa vía hasta el momento. La difusión del proyecto también se realiza vía redes sociales y en una página web dedicada al LIS.

7.2.2.4 Dialogando entre disciplinas

Una de las características generales de los proyectos de hardware abierto es que demandan una combinación de habilidades y conocimientos para poder desarrollarse. En el caso de Gorgas esto incluye el diseño y fabricación digital de la carcasa, la electrónica, la usabilidad, la programación del dispositivo, el análisis georreferenciado de los datos y los conocimientos de epidemiología para poder definir y estructurar los datos necesarios. Otras habilidades quizás no tan evidentes pero también clave son, por ejemplo, dominar el idioma inglés, saber construir buena documentación y conocer los procesos de importación de los componentes electrónicos.

La gestión del proyecto, iterativo y colaborativo, también demanda un *know-how* particular. Padilla-Huamantínco señala cómo basa su trabajo en conceptos de *design thinking* y diseño determinístico, donde el desarrollo de la solución se planifica y los aprendizajes se sistematizan. El manejo de herramientas digitales para gestionar este tipo de desarrollos también es una habilidad valiosa, por ejemplo en términos de plataformas con control de versiones. En este sentido el Laboratorio de Innovación en Salud planifica talleres para capacitar a sus estudiantes no sólo en las técnicas específicas, si no también en la gestión efectiva de los proyectos de innovación. Padilla-Huamantínco menciona los meta aprendizajes sobre el desarrollo de soluciones:

*esta metodología de design thinking**, donde hay un proceso más sistematizado y ordenado de lo que es el desarrollo de una solución [...] sumado a lo que es propiamente el framework que permiten plataformas de documentación como GitHub para comunicación y administración de proyectos [...] estoy tratando de promoverlo en los cursos en los cuales he estado involucrado*

En el caso particular de Gorgas, estos conocimientos necesarios se ensamblan de acuerdo a los distintos perfiles disponibles en el grupo. Carrasco-Escobar y Padilla-Huamantínco, como personas de más experiencia en el proyecto, organizan el trabajo y asignan responsabilidades, de acuerdo al expertise y tiempo disponible en los colaboradores. Manrique hace referencia al sistema de división de tareas que se utilizó en Gorgas:

[los coordinadores] designan y dicen bueno, como tú ya tienes experiencia en estas cosas, encárgate de ver la parte de logística de la implementación del trabajo de campo [...] o coordina el diseño del dispositivo GPS con Pierre [Padilla-Huamantínco], luego ya Gabriel se encarga de revisar que los diferentes componentes del proyecto sean consistentes entre sí para cumplir con los requerimientos del análisis final

Existen además reuniones de grupo donde se incentiva a los estudiantes o colaboradores más jóvenes a que expresen sus ideas, por ejemplo en instancias de *brainstorming*. Manrique, sobre su experiencia trabajando en el Laboratorio de Innovación en Salud:

siempre he tenido algo que hacer ya sea en Gorgas o en otros proyectos del LIS, y siempre son cosas distintas [...] es divertido, nunca nos quedamos estancados

El trabajo codo a codo con colaboradores que provienen de disciplinas completamente diferentes puede resultar difícil. Una de las ideas que Carrasco-Escobar menciona más frecuentemente es cómo Gorgas lo forzó a encontrar un «lenguaje común» con su equipo. Y que esto es un proceso que lleva tiempo, actitud receptiva y sensación de pertenencia:

decidimos un par de veces ir a comer o ir a tomarnos una cerveza porque finalmente ahí vas un poco limando asperezas y entiendes, que ese robot que son los ingenieros y que crees que hablan otro idioma, pueden tomar una cerveza y hablar lo mismo que tú [...] Y en el otro sentido también

La identificación con el espíritu de la «innovación», con trabajar de forma iterativa, de tomar riesgos y de la formación autodidacta, es relevante en todo el grupo del Laboratorio de Innovación en Salud, pero en particular en los coordinadores. Es una identificación además con algunas de las redes con las que están en contacto, como el MIT Biosummit o la competencia iGEM. Esta misma idea es la que el Laboratorio de Innovación en Salud pretende incentivar dentro de la universidad, a través de cursos con estudiantes de ambas carreras. Carrasco-Escobar menciona que trabajar con estudiantes le resulta mucho más sencillo que con profesionales con años de experiencia:

¿Quieres hacer innovación? Pues tienes que aprender que tienes que hablar múltiples idiomas, y bueno sobrevive. Hasta ahora tenemos una

tasa de supervivencia del 100% [...] las personas que ya están muy avanzadas en su carrera lo viven como una ruptura en la comunicación [...] los estudiantes en cambio son muy plásticos para lidiar con esto

El diálogo interdisciplinario no sólo se da en el laboratorio, sino también online aunque en una medida mucho menor. A través de GOSH, Gorgas se contactó con el proyecto de microscopía abierta Open Flexure, diseñado en Inglaterra y fabricado en Tanzania. Uno de los spin-off de Open Flexure es la construcción de algoritmos de detección automática de malaria, basados en el análisis de enormes cantidades de muestras con el microscopio. Para el equipo del Laboratorio en Innovación en Salud este es un proyecto sumamente atractivo. Por un lado, los parásitos que se observan en Perú son morfológicamente distintos a los que se ven en África. Por otro lado, pertenecer al Instituto de Medicina Tropical facilita el acceso a muestras y a pacientes de forma continua, tarea que resulta mucho más complicada en Tanzania. Ambos equipos trabajan actualmente en el desarrollo de la arquitectura del repositorio de imágenes, para que sea abierta y pueda servir para entrenar los modelos de detección de diferentes parásitos de malaria, en distintos lugares del mundo. Esta automatización reduciría los tiempos de diagnóstico, disminuyendo los costos y facilitando el trabajo en zonas escasas de personal calificado. Ya se imprimieron tres microscopios en el LIS que se están probando en el diagnóstico de Malaria, y Carrasco-Escobar realizó una visita a la Universidad de Bath, donde se encontró con el equipo de Richard Bowman para intercambiar experiencias:

lo que nosotros estamos dando desde el lado Perú es que queremos armar una arquitectura para repositorio de imágenes que sirva porque sea abierta y que finalmente sirva para entrenamiento de visión computacional de machine learning para detectar parásitos de malaria

7.2.3 El eje en el impacto por fuera de la academia

Uno de los conceptos claves para entender Gorgas es la ambición de **producir conocimiento que tenga un impacto directo en la realidad local**. Más allá de cuantificar y describir patrones de movilidad, uno de los principales objetivos de Carrasco-Escobar es generar información útil para la planificación de intervenciones y desarrollo de políticas en salud. En el caso de Gorgas producir esa información útil demanda cumplir con condiciones muy exigentes: contar con artefactos que sean aceptados por las comunidades indígenas, que toleren las condiciones de humedad y temperatura de la selva, que puedan repararse y

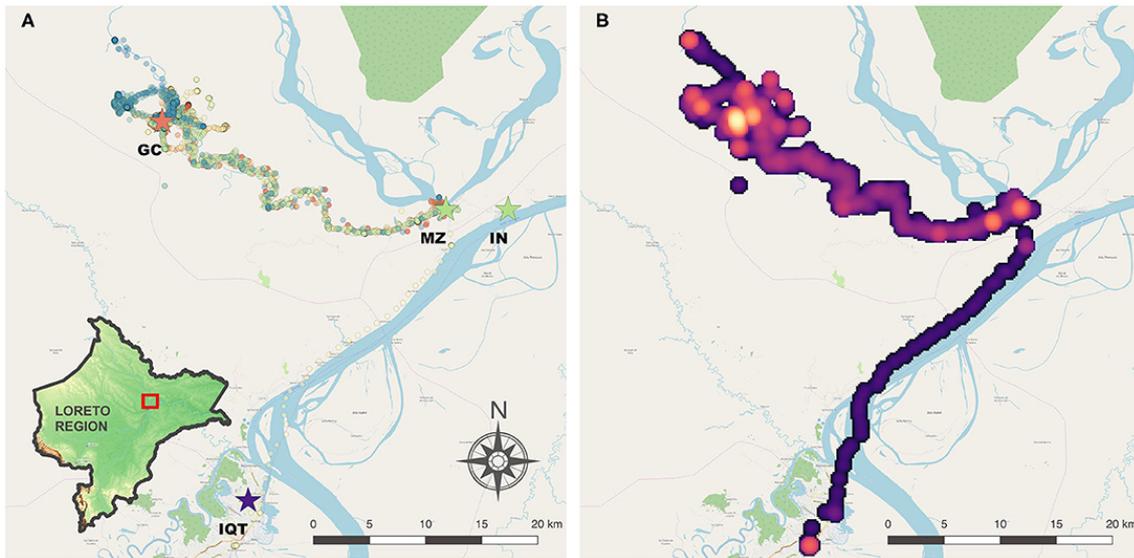


Figura 7.3: Gorgas tracker: visualización de datos obtenidos y mapa de calor de tránsito (Carrasco-Escobar et al. 2020)

adaptarse fácilmente. Carrasco-Escobar comenta al respecto en términos de su experiencia como epidemiólogo:

[los investigadores] en general nos dedicamos básicamente a describir cuáles son los estados de salud en poblaciones, qué cosa está relacionada con otra cosa y luego viene un gran párrafo de «se sugiere para, y los siguientes pasos son estos» [...] pero todo queda en papel

La primera disrupción que plantea Gorgas en el contexto de la academia es desafiar la norma de lo que se acepta como proyecto de investigación y lo que no. Hasta este proyecto, los estudios de movilización se realizaban ya sea realizando encuestas a los pobladores, utilizando redes de internet o telefonía celular, o GPS comerciales. Trabajos de campo anteriores mostraron como las encuestas resultaban poco confiables; los GPS comerciales resultan económicamente inaccesibles para estudios con un gran número de participantes. La decisión de fabricar un dispositivo propio dentro de la universidad implicó desafiar el concepto tradicional de proyecto de investigación dentro de la academia. En lugar de los típicos proyectos de investigación donde se sabe qué va a suceder en cada etapa, Gorgas se propone como proyecto de innovación, de mayor riesgo. Carrasco-Escobar comenta sobre sus aprendizajes al respecto: “*hay dos cosas que he aprendido en este proceso: uno lo complicado de vender una idea nueva en un entorno clásico, y dos, que creo que la universidad la cual estamos tiene un entorno muy clásico, muy tradicional*”.

Por otro lado, el proyecto propone estudiar un tema novedoso, que prácticamente no podía ser abordado con los aparatos disponibles, en un contexto de recursos escasos y a una escala no suficientemente interesante para las empresas desarrolladoras de tecnología. Desde el inicio hasta la formación del Laboratorio de Innovación en Salud, todas las actividades del proyecto están marcadas por la toma de decisiones diferentes a lo esperado en el contexto, pero que terminan funcionando. Aunque la malaria es un problema en Perú, otros países en África presentan números mucho mayores que atraen fondos para la investigación. Carrasco-Escobar comenta cómo esta situación sumado a otras condiciones no eran favorables para que el proyecto sea financiado:

era el combo perfecto como para archivar el proyecto [...] una persona que recién está empezando su carrera, un tema relativamente complicado de hacer, un país donde no es tan atractivo hacerlo

En la decisión de producir un prototipo propio, la apuesta es en términos de carrera académica. Tras varios intentos infructuosos de buscar apoyo a su proyecto en UPCH, un voto de confianza de su mentor en el Instituto de Medicina Tropical le permitió postular y obtener un fondo de la UPCH para proyectos menores, de estudiantes. Enfrentado a la negociación entre recursos disponibles y el impacto deseado, Carrasco-Escobar decide asociarse con Padilla-Huamantínco quien comenta cómo participar en Gorgas fue para él una apuesta personal:

en mi caso en realidad sí fue más una apuesta personal y una participación en el hecho de que se pudiera desarrollar y publicar los resultados

Arriesgando los pocos fondos disponibles, destinan la partida originalmente estipulada para la compra e importación de equipos a financiar el tiempo de estudiantes fabricar equipamiento. Este mero desvío de fondos les genera un problema burocrático considerable con las autoridades de la universidad. El proceso de prototipado no estuvo exento de contratiempos, marcado por la falla de componentes, los problemas para la importación de materiales y las exigencias de diseño impuestas por un estudio a realizarse en la selva amazónica.

Tanto Carrasco-Escobar como Padilla-Huamantínco son investigadores jóvenes, que se encontraban cursando estudios de maestría y doctorado al inicio del proyecto. La mayoría de su equipo está compuesto por investigadores

más jóvenes que ellos y estudiantes. Carrasco-Escobar comenta cómo los mecanismos académicos terminan imponiendo ciertas formas de trabajo sobre otras:

[la investigación tradicional] es un círculo muy cerrado, que no te permite flexibilidad para incluir o no incluir cosas nuevas [...] depende estrictamente de lo que querías responder en un inicio [...] en procesos de innovación el riesgo de fracaso es alto pero basta que un intento sea exitoso para que el beneficio sea muchísimo más grande

Las decisiones riesgosas y el eje en el impacto resultaron fructíferos en términos tanto convencionales (publicación, influencia en políticas) como de cambio hacia dentro de las instituciones. La creación del Laboratorio de Innovación en Salud a cargo de Carrasco-Escobar y Padilla-Huamantínco es, de alguna manera, un reconocimiento al valor de esta nueva forma, más flexible, de producir conocimiento desde la academia.

7.2.4 El diálogo en la construcción del problema

A lo largo de las distintas entrevistas, una de las capacidades que nombraron todos los participantes y que apareció en reiteradas oportunidades es la capacidad de producir conocimiento científico que genere impacto a nivel local, por fuera de la academia. Asociada a esta capacidad, inmediatamente aparece la idea de desarrollar herramientas útiles en el contexto local. Para Carrasco-Escobar la cuestión de poder producir impacto está relacionada a la asimétrica producción de conocimiento a nivel global, que deriva en la generación de soluciones que se exportan sin ser aplicables a todos los contextos.

El desarrollo de la herramienta dentro del contexto de la universidad permitió al equipo entrar en contacto no sólo con el trabajo de control de Malaria que desarrolla el Ministerio de Salud en Perú, sino (más importante) con el grupo que participa en el desarrollo del Plan Malaria Cero. Las necesidades de la política pública están presentes desde un inicio en Gorgas, pero la diferencia la hace el diálogo con un mentor en contacto directo con la política pública por fuera del ámbito académico. Padilla-Huamantínco menciona la conexión entre Gorgas y el Plan Malaria Cero:

en el país tenemos un programa que se llama el malaria cero, que justamente busca la eliminación de la malaria en los próximos años en etapas [...] una de las personas que estuvo liderando este programa,

no sé si aún continúa, fue el doctor Alejandro Llanos, quien también ha sido parte del equipo de Gorgas

Siguiendo en términos de impacto, el desarrollar un artefacto en interacción con la comunidad le permitió al equipo detectar toda una serie de mejoras posibles en el flujo de trabajo de los promotores de salud. Una de las posibilidades, por ejemplo, es la digitalización de los datos recolectados por los agentes de salud, que actualmente registran en papel. Otro ejemplo mencionado es incluir Gorgas dentro del flujo de trabajo de la red de salud, a fin de poder medir y mejorar ellos mismos lo que está sucediendo en el campo. Para poder contribuir de alguna manera a que estos cambios sucedan, una de las capacidades subyacentes es la de poder influir en la política pública. Padilla-Huamantínco menciona la colaboración y habilitar a otros a producir conocimiento como uno de los ejes de Gorgas:

desarrollar algo que pueda sumar fuerzas para eliminar esta enfermedad [...] Pero también desarrollar una herramienta que pueda ser utilizada por otra persona para hacer estudios, generar evidencia y ayudar en la toma de decisiones

7.2.5 Construcción de capacidades

7.2.5.1 Capacidades alcanzadas

En este sentido la capacidad más esperada y valorada en el proyecto era la de poder **contar con herramientas altamente personalizadas** que reflejen las necesidades de la investigación y permitan incorporar los puntos de vista de los pobladores, a fin de lograr una alta adherencia al estudio. Según Carrasco-Escobar, esta oportunidad que brinda el desarrollo abierto de explorar y modificar las herramientas a medida que avanza el trabajo es una situación ideal para los investigadores, «*es como darle un caramelo a un niño*».

La capacidad de diseñar el dispositivo y ajustarlo completamente a las necesidades locales es quizás el logro más significativo de Gorgas. Este es el proceso más mencionado por todos los participantes, en particular aquellos que no contaban con una formación en diseño o ingeniería, para los que Gorgas fue su primer contacto con el concepto de herramientas abiertas para la ciencia. Manrique resalta por qué esto es importante para él:

en cuanto al valor de este tipo de herramientas, es que te permite

customizar el dispositivo para las necesidades que uno requiere [...] no es lo mismo aplicar no sé este tipo de herramientas en África, en un contexto más urbano como Europa, o como nosotros en la amazonía peruana [...] cada uno va a tener un diseño distinto para hacerlo de la manera más óptima y obtener la información que se necesita para lograr los objetivos que se plantea el proyecto

El dispositivo producido por el equipo expande las funcionalidades de un GPS comercial: optimiza el uso de energía de uno a seis días, incorpora una interfaz o botonera física para mejorar la experiencia de usuarias no expertas, habilita la definición de un «área de estudio» generando alertas cuando se traspasa la zona, y permite visualizar el estado del dispositivo y los datos recolectados mediante una interfaz gráfica, si se lo conecta vía USB a una tablet o computadora.

Gorgas habilitó además la capacidad de incorporar a la investigación los intereses y preferencias de las comunidades en estudio. De acuerdo a cómo los participantes utilizaban el artefacto, el equipo pudo ir modificando sus características para ajustarlo lo más posible a sus preferencias. El dispositivo puede adaptarse en términos de colores, tamaños y funcionalidades según los requerimientos de las comunidades que los utilizarán. Carrasco-Escobar rescata cómo la apertura facilitó esta flexibilidad:

esa capacidad y flexibilidad fue algo que no hubiéramos podido obtener si hubiéramos comprado un equipo comercial [...] muchas veces cuando tratamos de buscar soluciones, estamos limitados a la oferta que hay en el mercado [...] un mercado que no está pensado para nuestros países

La capacidad de construir herramientas propias implica el desarrollo de habilidades tanto técnicas como de gestión. Por lo general, los investigadores tradicionalmente no cuentan con entrenamiento en fabricación digital o prototipado rápido. Pero el aprendizaje más significativo pareciera estar relacionado a la metodología iterativa y colaborativa de trabajo que viene aparejada a la fabricación de instrumentos abiertos. Padilla-Huamantínco comenta cómo el haber participado de la construcción del equipo, de alguna forma convirtió al grupo en una referencia para las usuarias de rePhone y plataformas similares:

Ya sabemos qué cosas puedes hacer y qué no con el rePhone [...] nosotros podemos decir si sirve o no para determinada aplicación

Una de las capacidades no mencionadas pero claramente adquiridas en el proceso fue la de reparar los propios equipos. Entrenar a los coordinadores del trabajo a campo en reparación fue clave para poder solucionar problemas que surgían en el momento, frecuentes dada la alta tasa de fallos de algunos componentes importados. Además, por su diseño modular los dispositivos Gorgas pueden ser reutilizados para otros fines una vez que el estudio se da por finalizado. Padilla-Huamantínco rescata cómo la reparación es también importante en términos de generación de residuos electrónicos:

se pueden desarmar y utilizar para otros propósitos, reprogramar [...] No es que se usen una sola vez y se dejen de lado, o se botan a la basura

Los resultados obtenidos en el estudio sugieren un rol importante de la movilización humana en la transmisión de Malaria, y por lo tanto que las actuales estrategias de control que desarrolla el Ministerio de Salud son subóptimas. Por otro lado, el taller de cierre con la comunidad brindó información útil respecto de la percepción que las comunidades tienen sobre estas medidas, que pueden utilizarse en el diseño de mejores programas de concientización.

La capacidad de influir en las políticas públicas, mencionada por todos los entrevistados, se logró en las etapas finales del proyecto. Por el lado académico, en base a los resultados de Gorgas uno de los proyectos del grupo de malaria dentro del Instituto de Medicina Tropical incorporó la dimensión de la movilidad humana dentro de la evaluación del impacto de la enfermedad. En cuanto al Ministerio de Salud, a partir de los resultados de Gorgas y la discusión generada en el Instituto de Medicina Tropical hubieron intercambios con los integrantes del Plan Malaria Cero. Finalmente la comisión que elabora el Plan incorporó la movilidad humana como uno de sus ejes, por su rol como facilitador de la importación de casos de malaria.

El poder intercambiar información y colaborar con otros equipos de investigación en el sur global fue mencionado como una capacidad deseada. Carrasco-Escobar menciona cómo las situaciones en estos países son generalmente mucho más similares entre ellas que cuando se las compara con Estados Unidos o Europa, quienes producen las herramientas. Padilla-Huamantínco relata cómo, cuando revisaron la documentación de Open Flexure -que además tradujeron al español-, ésta mencionaba que se podía utilizar la parte óptica de un microscopio que ya no funciona para construir el nuevo instrumento. Pero el equipo peruano nunca pudo encontrar un microscopio que no funcionara en la UPCH, donde muchas veces los materiales en uso son de segunda mano y si un equipo definitivamente no funciona sus partes son reutilizadas, como práctica normal:

nunca encontramos algo así [...] aquí si al menos uno de los lentes se puede utilizar entonces tú ya lo usas [...] no es como en Europa o USA donde cada cierto tiempo la gente cambia los equipos

El esquema de colaboración online a través de plataformas como GitHub no fue lo que funcionó (aún) para Gorgas. En cambio el encuentro a través de GOSH si resultó en colaboraciones que enriquecen el trabajo del equipo, como la del grupo Open Flexure en Inglaterra/Tanzania. La colaboración con el Ifakara Health Institute en Tanzania permite expandir los horizontes del proyecto original. El rol de las herramientas abiertas en este sentido garantiza la interoperabilidad y reduce la fricción a la hora de compartir datos.

La capacidad de trabajar de modo interdisciplinario es una de las más significativas en el proyecto. El éxito del equipo derivó en la creación del Laboratorio de Innovación en Salud, donde las metodologías de trabajo interdisciplinarias, abiertas y colaborativas constituyen la filosofía de trabajo que se transmite a los estudiantes. Manrique comenta sobre la ventaja de la interdisciplinariedad:

En nuestro caso teníamos al grupo de Pierre [Padilla-Huamantínco] que se encargaba más de Hardware, Gabriel [Carrasco-Escobar] como epidemiología, yo como ingeniero ambiental, tenemos otro chico que es administrador en salud pública [...] cada uno aportaba distintas cosas para poder tener un diseño más amplio y más flexible para nuestro caso

Participar del desarrollo de Gorgas permitió a los distintos investigadores pensar nuevas ideas y aplicaciones de las tecnologías abiertas. No sólo en el caso de los coordinadores, sino también los estudiantes e investigadores asistentes. Manrique Valverde tiene interés en estudiar vectores de la enfermedad, y está ideando un proyecto que combina Gorgas con herramientas de diagnóstico molecular, que permita capturar y comparar mosquitos en zonas de transmisión y en las comunidades. José Saldaña, estudiante de pregrado, tomó el diseño de Gorgas y lo extendió para incluir sensores de temperatura y humedad. Carrasco-Escobar y Padilla-Huamantínco están evaluando una segunda etapa de Gorgas con 300 participantes y seguimiento de 50 embarcaciones. El proyecto además abrió la puerta a pensar plataformas de recolección de datos ambientales en las ciudades, para contribuir a generar políticas basadas en evidencia.

7.2.5.2 Capacidades ausentes y otros limitantes

En general, las principales capacidades esperadas por el equipo se vieron cumplidas por el proyecto. Existen factores estructurales que limitan algunos de los cambios que imaginan los investigadores, y que dependen de la generación de capacidades colectivas. En este sentido, el cambio en las prácticas de los trabajadores de salud, el pasar de registrar datos en papel a hacerlo digital, es una iniciativa que encuentra apoyo en los mismos trabajadores. Sin embargo existen mecanismos burocráticos que hacen que los planes avancen, pero lentamente. Carrasco-Escobar comenta sobre el rol de los promotores en salud y su relación con las herramientas de trabajo:

[los agentes de salud] son personas que están muy cansadas de utilizar las mismas formas de registro de pacientes, que están muy cansadas del sistema de salud, pero que se ven en un entorno donde no lo pueden cambiar

Por otro lado, todos los entrevistados señalan que la llegada a la política pública es, por lo general, un camino sinuoso y realmente difícil para los investigadores. En este sentido, el apoyo del mentor dentro de la universidad, y el hecho de que el mismo mentor participe del comité del Plan Malaria Cero facilitaron mucho la llegada del proyecto a la política pública. Padilla-Huamantínco menciona cómo no todos los investigadores tienen esa puerta abierta:

una vez se logra el contacto ellos están muy abiertos a escuchar ideas nuevas [...] lo malo es que llegar a esos niveles para que te escuchen es muy complicado

Una de las capacidades que los participantes indican como relevante es poder sostener la iniciativa en el tiempo. Más allá de la disponibilidad de recursos para llevar adelante la mejora de Gorgas y nuevas investigaciones, existen aspectos técnicos del proyecto que condicionan su sostenibilidad. En el caso de SeedStudio, rePhone fue un producto desarrollado como prueba de concepto que no posee una comunidad activa y que la empresa pensaba discontinuar pronto, como comenta Padilla-Huamantínco:

una lección aprendida es asegurarte de que haya una documentación extensa y una comunidad detrás con experiencias previas sobre su desempeño

En términos de limitaciones institucionales, la falta de mecanismos internos para desarrollar procesos de investigación-innovación hizo que el proyecto tenga que ser presentado como una iniciativa académica tradicional, siguiendo protocolos académicos de investigación. Carrasco-Escobar señala que el obstáculo más significativo fue intentar «vender» una idea nueva a la universidad:

no existe algo como «tenemos esta plataforma y queremos hacer un diseño interactivo» [...] tuvimos que de alguna forma disfrazar lo que estábamos haciendo dentro de una investigación académica tradicional

La gestión de la importación de los componentes fue un aprendizaje sobre la marcha. La administración de la universidad colabora con los procesos de compras pero más a nivel local que internacional. Especialmente con la compra en cantidades de cargadores y otros componentes, el laberinto administrativo sin orientación fue todo un reto para el equipo. En cuanto a la calidad de los materiales, la tasa de equipos que no funcionaron como se esperaba son altas. Resultó imprescindible contar con un número extra para evitar huecos en la recolección de datos.

teníamos presupuestados, no sé, cien GPS y al final usamos cincuenta porque era la cantidad de personas que ingresaron al estudio, pero tuvimos suerte porque de los cien la mitad no funcionó como se esperaba

Otro de los aspectos de la capacidad de sostener la iniciativa son los incentivos para los investigadores. A nivel académico, Padilla-Huamantínco señala cómo poco motivador el hecho del poco reconocimiento académico de este tipo de desarrollos. En una de las revistas especializadas en movilización donde Gorgas tiene un artículo en revisión, uno de los revisores comentó que el desarrollo del equipo abierto no era relevante para ser incluido.

sería diferente si se envía a Hardware X o al «Journal of Open Hardware» pero nosotros entendemos que este desarrollo es clave en el tema de esta revista, que es movilización [...] se desmerece el esfuerzo de proponer algo diferente, pero además replicable, reproducible, siendo que eso es algo que se critica mucho en los estudios.

7.2.6 Síntesis del caso

Este caso presentó los resultados del análisis de Gorgas tracker a partir de entrevistas a tres de sus participantes en diversos roles y del análisis de

documentación pública. El equipo logró desarrollar un dispositivo propio de geolocalización con HCA para testear una nueva hipótesis en el estudio de la malaria en Perú, desarrollo en el que las comunidades que fueron sujeto del estudio, los trabajadores de salud a campo y las usuarias de la información desde la política pública influyeron de forma crítica para que se pudiera construir conocimiento útil.

Los resultados muestran de qué forma se construyó un dispositivo que responde a las necesidades locales de investigación: el diseño modular y orientado a la usuaria, la fabricación en ciclos iterativos, la división de tareas en el desarrollo y fabricación, el diálogo interdisciplinario en estas etapas. La diversidad de la participación en términos de género y formación/visiones del mundo aumenta cuando el equipo sale de la institución académica. En este sentido resulta crucial el rol que tuvieron los contactos con dos tipos de actores extra académicos: la comunidad indígena como sujetos de la investigación y su influencia en el diseño del artefacto; la política pública y su influencia en la construcción del problema de conocimiento, facilitada por los contactos a través de la universidad.

El análisis de capacidades permite observar que la autonomía en la construcción del artefacto y la utilidad en la producción de conocimiento son los factores principales que los participantes consideran como alcanzados. Aunque no mencionada inicialmente, la capacidad de base alcanzada que habilita las anteriores es la de trabajar de forma interdisciplinaria y generar un diálogo en el equipo desarrollador. Además, el proyecto permitió a jóvenes investigadores desarrollar sus ideas en un contexto institucional inicialmente adverso, beneficiándolos en la actualidad con la creación de un laboratorio propio. La capacidad de reparación de los artefactos también fue relevante, así como la de idear nuevos proyectos a partir de esta experiencia, en todos los participantes. El uso del espacio online como fuente de colaboración no resultó significativo, aunque sí se generaron colaboraciones con otros equipos de investigación dentro de la red GOSH.

Cuadro 7.1: Cuadro síntesis del caso Gorgas tracker

Contexto	Quiénes participan	Cómo participan	Capacidades
Problematicación costos prohibitivos, equipos no adaptables, equipos no reparables, desconexión ciencia/comunidad	Perfiles desarrolladores Epidemiólogo Ing. electrónico Ingeniero ambiental Estudiantes de maestría	Estrategia Desarrollo y producción a cargo del grupo de investigadores; pruebas con usuarios	Esperadas Impacto local Autonomía diseño Usabilidad local Formación de investigadores
Visión autonomía reparabilidad diseño basado en usuario impacto en políticas	Perfiles usuarios	Habilidades técnicas requeridas programación electrónica básica impresión 3D georreferenciamiento trabajo a campo software especializado epidemiología	Logradas Impacto en políticas públicas Nuevas funcionalidades Equipos reparables Equipos aptos Amazonia Cursos Lab Innov Salud
Innovación tolerancia clima extremo interfaz gráfica gestión energía	Nuevos actores Laboratorio de Biodiseño	Otras habilidades binurocracia importación participación en foros virtuales gestión de proyecto	Logradas no esperadas Gestión proyectos de innovación Trabajo interdisciplinario Reparabilidad Nuevas ideas y pruebas piloto
Etapas prototipado iteraciones con usuarios prueba piloto	Género Mujeres sólo como usuarias	frente de habilidades equipo interdisciplinario colaboración con proveedor	Limitantes Documentación en inglés Participación mujeres en desarrollo insufinos discontinuados
Financiamiento inicial Fondo semilla académico	Minorías en ciencia Contexto de sur global Comunidades indígenas sólo como usuarias	Metodología de trabajo Basada en usuario Diseño modular Iteraciones rápidas	Barrieras Falta apoyo para importaciones Rigidez institucional Cambios culturales política pública
Modalidad Prueba piloto a campo	Estrategias de inclusión Talleres con usuarios Interfaces físicas, UX	Usuarios Talleres de prueba con investigadores y usuarios finales (comunidad)	
Sostenibilidad Fondos académicos Fondos de innovación Proyectos derivados monetizables		Documentación Especificaciones técnicas Post-desarrollo	
		Aprendizajes simbólicos Desarrollo de lenguaje común Metodología de innovación Apertura y colaboración Uso de licencias GPL v3.0	

7.3 Proyecto Open Flexure

Bloque: Proyectos académicos

7.3.1 Introducción al caso

El proyecto «Open Flexure» es una iniciativa del Dr. Richard Bowman, físico especialista en óptica, que surge en el contexto de su trabajo en la Universidad de Cambridge y la Universidad de Bath, en Inglaterra. Su objetivo es hacer que el posicionamiento mecánico de alta precisión sea accesible para cualquier persona que cuente con una impresora 3D. Estos mecanismos se utilizan en distintos artefactos, siendo el más desarrollado y visible hasta el momento el uso en microscopios de alta precisión.

Los archivos de diseño de Open Flexure (OF) fueron publicados en 2015 en GitHub, junto a la publicación de un pre-print describiendo el diseño y funcionamiento del artefacto. La principal innovación de OF consiste en el uso de bisagras flexibles que pueden fabricarse con impresión 3D y en su diseño monolítico, que le brinda gran estabilidad. Esto lo vuelve altamente preciso y minimiza las probabilidades de obtener imágenes defectuosas incluso en condiciones ambientales poco favorables. Actualmente, el desarrollo y mantenimiento del proyecto sigue siendo liderado por Bowman desde su laboratorio en la Universidad de Bath, el «Bath Open Instrumentation Group (BOING)».

El equipo de Bowman obtuvo dos financiamientos para trabajar en el proyecto, por parte del programa del gobierno inglés denominado Global Challenges Research Fund (GCRF). El objetivo del programa es apoyar investigación que trabaje sobre los desafíos que atraviesan los países en desarrollo. La primera propuesta, compartida por Cambridge y Bath, financió la colaboración entre el equipo desarrollador y STICLab, un makerspace en Tanzania. El rol de STICLab es el de co-desarrollar y fabricar microscopios OF completamente en Dar es-Salaam, a fin de proveer institutos de investigación en salud y universidades locales con equipos de alta precisión y bajo costo. La segunda propuesta financia la automatización del proceso de diagnóstico de malaria a partir del uso de microscopios OF. En este caso el equipo trabaja directamente con el Ifakara Health Institute (IHI) en el desarrollo de algoritmos de machine learning que permitan acelerar el proceso de diagnóstico, basándose en el análisis de muestras obtenidas con microscopios OF. Las siguientes secciones presentan sintéticamente ambos espacios.

7.3.1.1 STICLab

STICLab, el primer makerspace de Tanzania, fabricó su primer OF o «SayansiScope» en 2016. El espacio fue co-fundado en 2015 por Stanley Mwalembe, una personalidad local en términos de innovación y desarrollo. Mwalembe, profesor en el Instituto de Tecnología de Dar es-Salam (DIT), había asistido en 2012 a una charla sobre impresión 3D en BuniHub, un espacio local de innovación, junto a dos de sus alumnos: Valerian Sanga y Paul Nyakyi.

El instructor de esa charla/taller, el estadounidense Matt Rogge, volvió a BuniHub en 2014 para seguir desarrollando una de las ideas que surgió de los participantes en esa primera instancia. El problema de los desechos electrónicos es muy importante en Tanzania, con 9500 toneladas generadas sólo en 2015. La idea era aprovechar esos desechos para construir una impresora 3D. El equipo logró construir la impresora, hecho que visibilizó la escena de innovación en Tanzania internacionalmente, opacada hasta ese entonces por el desarrollo activo de su vecino, Kenya. Poco después un fondo proveniente de Finlandia apoyaría a BuniHub para promover el desarrollo de fablabs locales y equiparlos con el nuevo modelo de impresora 3D.

En este contexto, Mwalembe y su equipo fundan STICLab en 2015, no sólo fabricando y utilizando impresoras 3D sino también trabajando en proyectos de innovación relacionados con el acceso al agua, que recibieron financiamiento del Banco Mundial. En 2016, a través de la organización inglesa TechForTrade, STICLab entró en contacto con TReND in Africa, organización sin fines de lucro que realiza capacitaciones en ciencia abierta y talleres de equipamiento con hardware científico abierto en distintos países africanos.

El repentino fallecimiento de Mwalembe en 2019 obligó a los co-fundadores Sanga, Nyakyi y Christian Brighton Mweta a tomar el mando de STICLab. El espacio cuenta hoy con un equipo de ocho colaboradores que se suman a los tres co-fundadores, con Sanga como CEO. A partir de la colaboración con OF, STICLab produjo y vendió microscopios a la Universidad de Dar es-Salam, en Tanzania. Sin embargo, su principal cliente es el Ifakara Health Institute (IHI), instituto de investigación en salud reconocido como de excelencia a nivel internacional (TWAS, 2009).

Tanto el equipo de Bowman como miembros de TReND in Africa participan activamente en GOSH desde sus inicios, por lo que STICLab entró en contacto rápidamente con la comunidad. Además, se convirtió en una referencia regional para GOSH a partir de ser la sede de la segunda edición de AfricaOSH, en 2019.



Figura 7.4: Open Flexure: primeros microscopios, o *sayansiscopes* fabricados en Tanzania (fuente: Twitter BuniHUB)

7.3.1.2 Ifakara Health Institute (IHI)

El instituto de investigación en salud Ifakara (IHI) fue fundado por investigadores del Instituto Tropical Suizo (STI), con sede en Basilea. El investigador Rudolf Geigy, del STI, llegó a Ifakara en 1949, cuando aún Tanzania se encontraba bajo dominio británico, buscando un lugar para desarrollar trabajo de campo en enfermedades tropicales. El valle otorgaba una oportunidad perfecta, ya que sus habitantes sufrían de toda enfermedad tropical imaginable y la ayuda era escasa. El nombre «Ifakara» significa «lugar donde se va a morir», probablemente relacionado a la alta tasa de mortalidad en la región (IHI, 2020).

A partir de la independencia del país en 1961, Geigy coordinó con el nuevo presidente la transferencia del centro a manos locales. El paso de mando oficial sucedió en 1996, cuando el instituto pasó de llamarse Swiss Tropical Institute Field Laboratory (STIFL) a su nombre actual. Se convirtió además en un «trust» autónomo, con lazos directos tanto con el Ministerio de Salud de Tanzania como con el STI.

El instituto realiza tareas de investigación, educación y servicios. En cuanto a investigación, existen tres líneas principales: salud y ecología ambiental, intervenciones y ensayos clínicos, y evaluación de impacto y políticas. En términos de educación, desarrolla programas cortos de entrenamiento para investigadores en malaria y coordina el Máster en Investigación en Salud Pública. Provee también servicios de archivos, sala de conferencia y plataformas de información tanto a privados como a entidades públicas.

Actualmente el IHI emplea 600 trabajadores en seis localidades, con tres sitios principales. En Dar es-Salam se encuentra la sede administrativa. En Ifakara se encuentra la sede original y más antigua a siete horas de la capital, en una zona predominantemente rural. Sus investigaciones aportan datos sobre las enfermedades que afectan a los sectores más pobres del país. La sede costera de Bagamoyo, inaugurada en 2005, se encuentra a una hora de la capital y muy cercana a la isla de Zanzíbar, el destino turístico más importante de Tanzania. Es en Bagamoyo donde se utilizan los microscopios fabricados por STICLab, ya que el trabajo que allí se desarrolla es principalmente de diagnóstico, investigación y capacitación en temas relacionados a la malaria.



Figura 7.5: Open Flexure: «Mosquito city» en el Ifakara Health Institute (fuente: web IHI)

7.3.2 Participación distribuida

El modelo de trabajo de Open Flexure puede pensarse como una cadena de suministro distribuida donde inicialmente existe una clara división del trabajo: desarrollo en Inglaterra, fabricación y uso en Tanzania; y que a través de los tres años de proyecto se desdibuja para dar origen a un modelo de codesarrollo entre Inglaterra y Tanzania, y de fabricación y comercialización locales por parte de STICLab. Una entrevista realizada en 2020, Valerian Sanga, CEO de STICLab, detalla las etapas en las que se involucra el makerspace:

Realizamos pruebas de fatiga, hacemos desarrollo de electrónica con el controlador de motor sangaboard, imprimimos en 3D los microscopios, proporcionamos asistencia técnica, desarrollamos el test mecánico «MechJiwe» [...] pero también realizamos visitas a los lugares y tenemos reuniones con las partes interesadas, o buscamos la aprobación del gobierno para que los microscopios se utilicen en educación

El equipo en Bath, estrictamente académico, es liderado por el Dr. Richard Bowman e integrado por Julian Stirling, físico especialista en metrología, Joel Collins a cargo del desarrollo de software, Kaspar Bumke en soporte técnico, Ed Meng también físico y Kerriane Harrington, especialista en óptica. En Tanzania, los trabajos de co-desarrollo y fabricación local fueron principalmente desarrollados por

Valerian Sanga, Paul Nyakyi y Grace Anyelwisye, tres ingenieros graduados del Dar es-Salam Institute of Technology, CEO, co-fundador y colaboradora de STICLab respectivamente.

Las principales usuarias de Open Flexure son actualmente los trabajadores del Ifakara Health Institute en la sede Bagamoyo. El grupo está integrado por tres profesionales: la Dra. Catherine Mkindi, a cargo del equipo, y los profesionales Valeriana Mayagaya y Joram Mduda, quienes realizan diagnósticos de malaria, entre otras tareas de investigación.

Aunque de manera informal, el equipo de Bath señala como particularmente significativa la participación de Anna Lowe, consultora en procesos de manufactura con experiencia de trabajo en Ghana y una amplia red de contactos en la región, cofundadora de la alianza MakerNet. En entrevistas con Stirling en 2019, el investigador resalta la importancia del contacto local: *“Es tan útil tener a alguien que hable el idioma correcto y haga las preguntas correctas, en lugar de un científico brusco como yo, que se acerca y dice: «Me gustaría ayudarte a hacer esto».*

El rasgo más llamativo del proyecto es la efectiva coordinación y construcción de capacidades entre Bath y STICLab como socio para la manufactura, comercialización y reparación locales del microscopio en Tanzania. Los integrantes del makerspace no sólo participaron en el proceso de fabricación de los diseños, sino que adaptaron los mismos a distintas particularidades del contexto local. Sanga recuerda la forma en que entraron en contacto con los investigadores ingleses:

G.W. [una estudiante] vino a nuestro espacio para hacer prácticas industriales mientras terminaba su maestría, de la Universidad de Cambridge [...] a través de ella nos conectamos con el Dr. Richard Bowman y el resto del equipo [...] un año después, el Dr. Richard estaba escribiendo una propuesta de proyecto, Open Lab Instrumentation, donde nos pidió que fuéramos socios en la fabricación

Open Lab Instrumentation, que permitió que Bowman ganara independencia como investigador a cargo del grupo BOING, financia el trabajo de STICLab, que no es solo técnico sino también de articulación con las organizaciones locales; tarea que de otra forma hubiera sido imposible para el equipo en Inglaterra. A modo de ejemplo, para poder insertar OF en las escuelas en Tanzania, primero es necesario acordar con el Ministerio de Educación, que tiene que aprobar el proyecto. Este es un proceso altamente burocrático que fue liderado totalmente por STICLab y permitirá en los próximos meses distribuir el microscopio en las escuelas del país. Algo similar sucedió con el contacto con la Universidad de Dar es-Salam, que sólo avanzó una vez

que se concretó un contacto en persona. Stirling hace referencia a las dificultades de trabajar «a la distancia» con Tanzania: *“Fue muy difícil para nosotros ponernos en contacto originalmente con la universidad de Dar es Salaam, pero ahora ya estamos en contacto [...] los visitamos cuando estábamos allí para AfricaOSH”*

Por otro lado, el rol de las usuarias del microscopio es fundamental en el proceso de coproducción, tomando un rol activo en la prueba y sugerencia de mejoras sobre el diseño. Las usuarias del IHI son investigadores altamente calificados; OF les abre la posibilidad de intervenir en el diseño del artefacto, estando en contacto directo con los fabricantes, transmitiendo sus inquietudes y nuevas ideas. Joram Mduda, técnico en IHI, comenta en una entrevista en 2019 cómo entró en contacto con el makerspace: *“Conocí a STICLab después que lo mencionaran nuestros colegas de Cambridge [...] me informaron de cómo querían que sea esta colaboración, me dijeron que estaban trabajando también con STICLab”*

En términos de diversidad de la participación, OF articula actores que de alguna forma observan el proceso de fabricación desde ángulos diferentes de acuerdo a sus roles en el proceso (desarrollador, fabricante, usuaria); en el primer caso los perfiles son de investigadores académicos, en el segundo ingenieros, en el tercero técnicos de laboratorio. La participación de mujeres sólo se da a partir de la etapa de uso, como técnicas en el Ifakara Health Institute. La distancia más grande entre saberes, más allá del tipo de expertise, está en la distancia entre dos culturas tan diferentes. Stirling menciona una de las diferencias concretas que primero observó en Tanzania: *«Si intentas construir algo, necesitas gente para soldarlo, con hierro fundido [...] si intentas hacer que algo se suelde así en Inglaterra, casi nadie lo hace ya aparte de las grandes empresas».*

7.3.3 Diálogo hacia la coproducción

Uno de los objetivos principales del proyecto fue desde el comienzo poder fabricar los microscopios completamente en Tanzania. Para ello, la estrategia del equipo en Bath fue programar visitas largas tanto de Stirling a STICLab como de Sanga y Nyaki a Cambridge/Bath. En estas visitas, además de perfeccionar habilidades en términos de fabricación digital y ensamblado de los equipos, se consideraba cómo adaptar los procesos a las condiciones locales en Dar es-Salam y los desafíos que pudieran surgir en el día a día. Stirling menciona por qué se decidieron por esta metodología de trabajo: *“si vas a visitar a alguien durante dos días, todo el mundo te muestra las mejores cosas que quieren mostrarte y tal vez no exactamente cómo funcionan las cosas”.*

Fabricar un microscopio como OF demanda habilidades prácticas concretas, como saber utilizar software CAD, poder realizar un diseño para impresión 3D y saber operar una impresora. Pero también otras habilidades menos evidentes, como por ejemplo saber cómo manipular las partes ópticas del microscopio de forma tal de garantizar la calidad del trabajo. En STICLab la impresión 3D no es un problema, pero las buenas prácticas para manejar elementos ópticos fueron un desafío. Las condiciones del makerspace se asemejan más a un taller mecánico abierto que a un área limpia para trabajar en óptica, por lo cual hubo que adaptar el trabajo para obtener los mejores resultados posibles. Stirling comenta que, como físico especializado en óptica, esto fue lo que más trabajo le costó aceptar: *“Lo que cuenta como limpio para la óptica es muy diferente de lo que cuenta como limpio para un tornillo”*.

Una de las ventajas del diseño monolítico de OF es que no sufre tantas alteraciones como otros materiales frente a la temperatura o la humedad. Para facilitar y acelerar el proceso de ensamblado, las piezas impresas se «encastran» con el resto de los componentes. En total, el microscopio puede ser ensamblado en dos horas por una persona con experiencia, o en cuatro horas la primera vez. Desde el diseño de las piezas impresas el criterio que se utiliza es el de evitar imprimir material de soporte. Esto hace que sea fácil y más rápido de imprimir, evitando el riesgo de dañar piezas en el ensamblado. Sin embargo algunas piezas son delicadas y en definitiva es un artefacto pequeño, que requiere de un manejo de precisión. Fue necesario que se rompieran los primeros modelos para poder incorporar esa dimensión de cuánta fuerza tolera el artefacto. Sanga comenta que este fue uno de los aprendizajes que rescata: *“Aprendí algunos nuevos trucos de la impresión 3D porque el microscopio está hecho completamente con una impresora FDM”*.

La lista de materiales necesarios para construir un microscopio OF incluye una placa/computadora Raspberry Pi que controla el microscopio, lentes que pueden obtenerse de microscopios viejos y cámaras web, y componentes no impresos que pueden reciclarse o conseguirse en una ferretería fácilmente, como tuercas, O-rings. Se seleccionan siempre considerando disponibilidad local, costo y performance. Uno de los problemas que aparecieron rápidamente fue la falta de acceso a ciertos componentes, o la utilización de técnicas diferentes de trabajo, como identifica Sanga: *«la logística de los productos importados en Tanzania es un poco un problema, no es lineal como en el Reino Unido»*. Stirling también pudo observar diferencias en metodologías de trabajo: *«Si quieres algo bien hecho en Tanzania probablemente lo quieras soldar; aquí [en el Reino Unido] seguramente atornilles extrusiones de aluminio»*.

Todas las versiones de OF se manejan con el mismo código backend, que se

distribuye como imagen en una tarjeta SD para Raspberry Pi; para poder configurar el microscopio es necesario tener un nivel medio de programación. Los conocimientos en electrónica, electricidad e ingeniería en general en STICLab son altos, habiendo fabricado sus propias impresoras 3D. Por el contrario, la curva de aprendizaje fue ardua en términos de software y programación del microscopio. Stirling menciona que esto fue inesperado para el equipo de Bath, y por lo tanto formó parte del programa de capacitación de STICLab: *“Al comenzar el proyecto esperábamos un grado mucho más alto de conocimientos de programación por parte de STICLab, por el título universitario que tenían, pero estaba más orientado a la ingeniería general y la electrónica”*

Quizás lo más interesante en términos de diferentes grados de participación sea la división de tareas debido a la propia complejidad de la innovación. En este caso, el repositorio base de código escrito por el Dr. Bowman no suele ser modificado ni siquiera por su equipo en Bath. La dinámica adoptada, similar a muchos otros proyectos de software y hardware abierto, es modular. Si el equipo desea agregar una funcionalidad, escribe el código necesario de forma tal que sea compatible con la base original y «lo enchufa» a la base. Stirling menciona de qué forma trabajan el software:

el código base del microscopio es increíblemente complejo [...] la mayoría de los grandes increíbles cambios vienen de Richard sólo porque es un código base tan grande el que él escribió, que es más fácil para él saber cómo funciona que para nosotros.

El proceso de coproducción tomó aproximadamente tres años desde el inicio del proyecto hasta hoy. Ambos participantes comentan la complejidad de colaborar, desde el lado desarrollador delegando control sobre el proyecto en la otra parte, y por el lado del fabricante poder confiar en que un actor con más poder va a mantener una relación equitativa en la colaboración. Stirling comenta que en definitiva es un proceso que toma tiempo: *“Trabajábamos juntos, teníamos problemas comunes que resolver [...] se trataba, creo, de desarrollar suficiente respeto mutuo”*

Es interesante señalar cómo más allá del intercambio exitoso entre los equipos y la confianza lograda, el proyecto sigue inserto en una sociedad que reproduce visiones colonialistas y esto impacta en el proceso. Por un lado, en una nota que *Nature Toolbox* le realizó a Stirling, el entrevistado mencionó el costo de pagar vuelos de primera clase a ingenieros europeos como una de las barreras a la reparabilidad de artefactos en Tanzania. Sin embargo, el artículo publicó una versión ligeramente diferente, hecho que Stirling menciona con visible enojo: *“me citaron diciendo que no hay buenos ingenieros en Tanzania”*. Por otro lado, Stirling nota cómo la conexión

con Cambridge y Bath abre puertas para STICLab localmente: “*tienes la sensación de que la gente desconfía de las cosas que se hacen en Tanzania, lo que es una gran vergüenza*”.

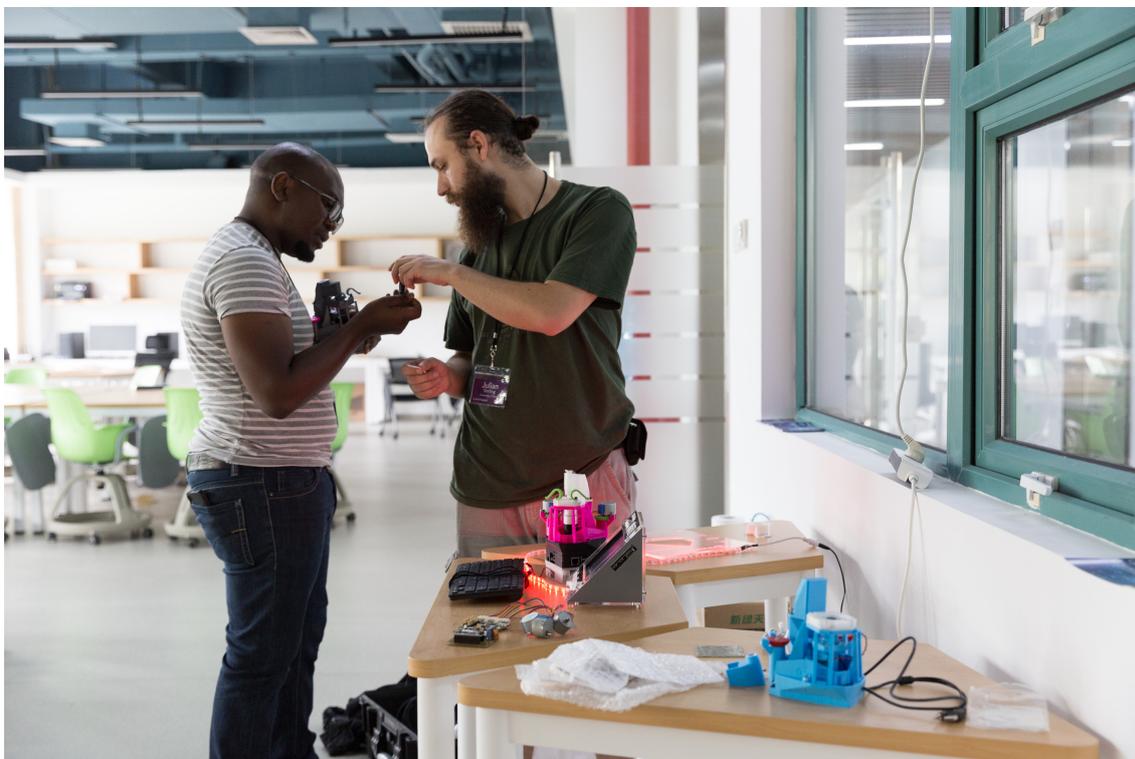


Figura 7.6: Open Flexure: coproducción en GOSH 2018, Shenzhen, China (fuente: GOSH Flickr)

7.3.3.1 El espacio online

Toda la documentación tanto para fabricar como para utilizar un microscopio Open Flexure se encuentra disponible en el sitio web del proyecto. Los documentos técnicos están alojados en un repositorio GitLab, y el equipo interactúa con la comunidad a través del foro de discusión y de una sala de chat, alojada en Gitter. Se pueden encontrar traducciones al español y video tutoriales de como ensamblar cada parte del microscopio.

Las contribuciones más significativas fueron realizadas a nivel de software, no del lado del servidor, que resulta más complejo, sino de los módulos con los que interactúan las usuarias. Las colaboraciones incluyen la detección de bugs o preguntas específicas sobre el funcionamiento del microscopio, pero también un adaptador que permite conectar el microscopio OF con el sistema modular óptico «UC2» alemán -otro proyecto de hardware abierto-, y una carcasa resistente diseñada por STICLab para proteger el microscopio al transportarlo.

7.3.4 Diseño desde la usuaria

En STICLab se producen actualmente cuatro diseños de Open Flexure, como menciona Sanga: «*nuestro producto se divide en cuatro categorías, tenemos algunos para fines educativos y tenemos los de diagnóstico de la malaria para el hospital y centros de investigación*». Para obtener las diferentes versiones, el concepto de diseño modular se vuelve clave, ya que facilita el intercambio de componentes que habilitan diferentes funcionalidades.

Dadas las características especiales del mercado educativo en Tanzania, aún no se pueden comercializar los microscopios con escuelas ya que requieren de autorización del gobierno. Sí se comercializa la versión avanzada con el IHI; el grupo liderado por la Dra. Mkindi está en contacto con STICLab, quien provee los equipos y las partes en caso de ser necesaria una reparación. El grupo utiliza el microscopio para realizar diagnósticos de malaria y entrenar a nuevos técnicos en su ensamblado, uso y reparación. Mduda, técnico del IHI y parte del proyecto, detalla las tareas que realiza para OF:

Pruebo el dispositivo, identificando problemas en las etapas de desarrollo y también hago la corrección de datos de las imágenes resultantes [...] También comparto el conocimiento con los técnicos locales en otros centros de salud

El equipo en IHI, además de testear los microscopios y dar su opinión para volver a testear las nuevas versiones, entrena a otros técnicos a campo, en regiones más alejadas, en el uso del equipo para el diagnóstico de malaria. Mduda comenta que como parte de esta tarea de divulgación hace demostraciones en el mismo centro para testear usabilidad y difundir el proyecto: «*cuando entreno a alguien le muestro todo, cómo ensamblarlo y después de ensamblarlo, asegurándome de que conoce bien el microscopio*».

El primer diseño que produjo STICLab, aunque funcional, presentaba algunas dificultades para los técnicos del IHI. A través de varias reuniones e iteraciones, se detectaron que los obstáculos estaban principalmente originados en la ausencia de una interfaz gráfica para realizar las distintas tareas. Por ejemplo, el agregado de pacientes se hacía a través de línea de comandos, teniendo que utilizar código; el autofocus, esencial para el trabajo con microscopio, también se controlaba con una interfaz basada en texto.

Mduda tiene años de experiencia trabajando con microscopios convencionales, sin embargo, señala que trabajar con la primera versión del microscopio le resultaba

muy difícil, especialmente por la necesidad de programar: *«Cuando empecé a usar esa versión, era tan complicada que necesité encontrar un curso o tutorial para asegurarme de que era capaz de usarla».*

La segunda versión, diseñada a partir de estas observaciones, permitió una adopción mucho más amplia por parte de los técnicos. Por un lado, la nueva versión permite acceder a los datos y controles del microscopio desde una aplicación en el celular. La masificación de los smartphones hace que la mayoría de las personas esté muy familiarizada con este tipo de interfaces. La aplicación permite acceder a las notas, imágenes, metadata ingresadas e incluso accionar el escaneo. Por otro lado, se desarrolló un software para ajustar el autofocus del microscopio utilizando el mouse, y un formulario gráfico en la misma interfaz para agregar pacientes. Mduda asegura al respecto: *“Enseñar a alguien a usar el microscopio para esta etapa en la que estamos es muy fácil, porque no necesitas programar”*

Las imágenes obtenidas con OF se almacenan en un servidor en el IHI, de manera que tanto los investigadores del IHI, de Cambridge y de Bath tienen acceso a ellas. Con estas imágenes trabaja el proyecto más reciente del equipo, que pretende desarrollar algoritmos de machine learning que puedan evaluar una muestra y determinar si es sospechosa de malaria o no; a fin de que el técnico no pierda tiempo en revisar aquellas que claramente no presentan evidencia de la enfermedad. OF inspiró a Mduda nuevas ideas y proyectos de automatización de tareas, que ya está planificando con sus compañeros del IHI.

7.3.5 Construcción del problema

El equipo en Bath comenta cómo la construcción del problema de conocimiento se basó en dos objetivos principales: solucionar el problema del acceso a equipamiento científico en Tanzania a partir de crear un circuito corto de provisión y reparación, y generar equipamiento abierto confiable, de alta calidad que pueda ser útil en investigación.

El equipo inglés entra en contacto con STICLab a partir de una colaboración previa entre el makerspace y otro proyecto en Cambridge. Este primer contacto, y luego la participación en los encuentros globales GOSH consolidaron el vínculo. El eje principal de problematización al que llegaron es la ausencia de capacidades locales de mantenimiento de los equipos científicos en Tanzania, lo que hace que la compra de herramientas, de por sí poco accesibles, se vuelva insostenible en el tiempo. Por un lado, las partes de los microscopios (y de otras herramientas) no se consiguen en el mercado local. Pero todavía más significativo, los proveedores de equipos no poseen

personal local ni regional entrenado en reparación y los diseños son cerrados por lo tanto no pueden inspeccionarse. Esto deriva en que cualquier mínima operación de reparación o mantenimiento demanda viajes de técnicos especializados desde Europa o Estados Unidos, imposibles de costear para los locales. Julian Stirling, investigador en Bath que llevó adelante el trabajo de codiseño con STICLab, comenta este problema: “*Especialmente cuando hablamos de equipos de laboratorio, una gran proporción de ellos en África están rotos*”.

En segundo lugar, el acceso a la impresión 3D como metodología de fabricación digital de bajo costo provocó una explosión de diseños de microscopios «do it yourself» en los últimos años. Hechos a partir de combinar lentes reciclados o cámaras web y piezas impresas, el mensaje de estos proyectos suele ser «ciencia a bajo costo» o «ciencia para todos». Sin embargo, la calidad de estos diseños es muy variable y su precisión no alcanza el grado necesario como para ser utilizados en investigación, aunque sí son utilizados en educación. Stirling menciona que uno de los problemas es la dinámica de la académica que incentiva a publicar aunque los diseños no estén probados: “*muchos de los proyectos de GOSH que he visto no son de alta calidad debido al modelo académico de que una vez que has publicado un trabajo, algo está hecho [...] haces un primer prototipo y publicas un trabajo diciendo «esto más o menos funciona»*”.

Combinando estos dos problemas el equipo OF problematiza la concentración de la producción de las herramientas científicas de alta calidad en el norte global como perjudicial para los países en desarrollo. Frente a esta situación, la propuesta del equipo es generar un diseño abierto de microscopio de calidad apta para la investigación y en asociación con un makerspace local, generar la capacidad de fabricación y mantenimiento del mismo. Se plantea la producción distribuida, a bajos volúmenes y la venta a universidades e institutos como una alternativa de modelo de negocio posible para sostener la existencia de los makerspaces.

El equipo de investigación en la Universidad de Bath está interesado en el diseño, pero no en el aspecto de fabricación y distribución de los microscopios. Encontrar un socio capaz de fabricar y reparar el artefacto se considera como un círculo virtuoso que beneficia a todas las partes, garantizando la sustentabilidad del proyecto. Stirling menciona sobre la sustentabilidad: “*lo que realmente necesitamos para hacer que el hardware abierto sea una realidad es una forma de que la gente pueda producirlo manteniéndolo abierto, manteniendo suficiente rentabilidad*”.

El caso de aplicación elegido, diagnóstico de malaria, ilustra estos problemas de forma muy concreta. La microscopía óptica es el criterio de referencia adoptado internacionalmente por la Organización Mundial de la Salud para el diagnóstico

de malaria. Sin embargo los problemas mencionados anteriormente demoran y dificultan el diagnóstico y tratamiento de la gran cantidad de pacientes. La motivación principal del equipo es poder acelerar este proceso en zonas donde no solo los equipos escasean sino que la disponibilidad de personal técnico de diagnóstico es reducida.

La propuesta, que surge en colaboración tanto con STICLab como con el IHI, es desarrollar un circuito completamente local, donde un makerspace pequeño produce y mantiene microscopios de bajo costo, capaces inicialmente de permitir que todos los técnicos trabajen simultáneamente, atendiendo más pacientes en menor tiempo. Stirling defiende muy enfáticamente la intención de cerrar el circuito local en la mayor medida posible: *“Creemos que identificar y resolver estas cuestiones es esencial si queremos alentar a los institutos de investigación del Norte Global a diseñar la instrumentación con los africanos, en lugar de «para África».*

Participar de este tipo de proyectos, tanto para el makerspace como para los técnicos del IHI en Tanzania, es motivo de orgullo. Tanto Sanga como Mduda mencionan que son parte de un proyecto que pretende tener un impacto social en su país; en el caso de Sanga: *“[en el futuro] nos vemos a nosotros mismos en el rol de la fabricación, el apoyo técnico, y en ser los mejores embajadores de esta innovación”.* Para Mduda, *«cuando empecé a trabajar en este proyecto sabía muy poco sobre el diagnóstico, pero ahora puedo decir que soy experto [...] incluso cuando estoy en casa, cuando alguien conoce un caso de Malaria ahora la gente me pregunta, sé todo sobre la Malaria».*

7.3.6 Construcción de capacidades

7.3.6.1 Capacidades alcanzadas

La capacidad más mencionada en entrevistas y documentos por parte del equipo de Open Flexure es la de contar con mayor autonomía en cuanto a la provisión y reparación de herramientas científicas. Para ello, el proyecto intenta generar la capacidad de fabricar y reparar localmente bajos volúmenes de microscopios. Por un lado generar un circuito corto de comercialización, que contemple la provisión de componentes disponibles en el mercado local o que pueden importarse sin mayores restricciones, destinado a compradores locales o regionales. Por otro lado capacitar al personal necesario que pueda garantizar el funcionamiento del circuito.

En términos de autonomía y producción local, STICLab tiene actualmente la capacidad de producir microscopios Open Flexure tanto para educación como para

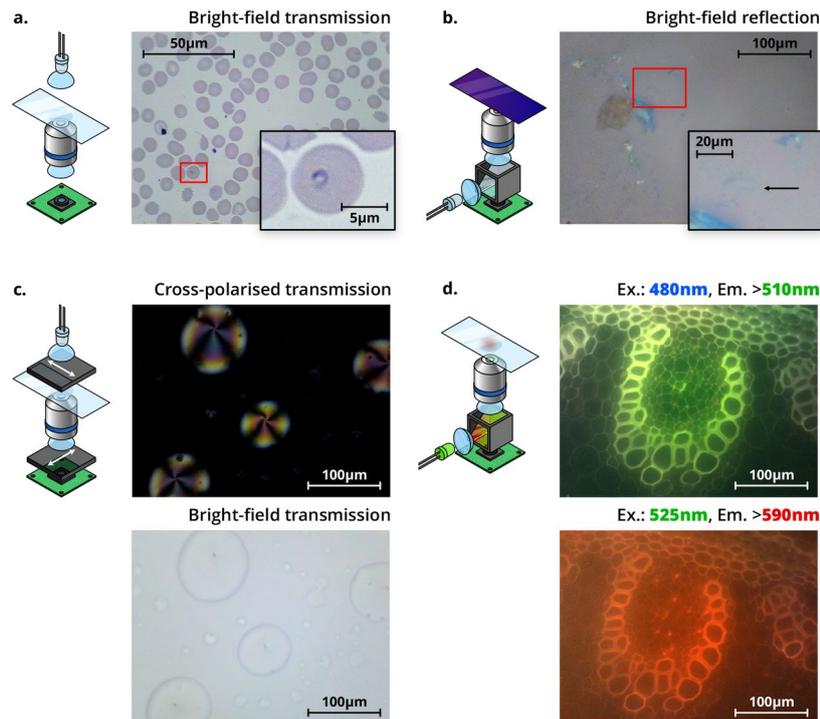


Figura 7.7: Open Flexure: configuraciones y modos de imagen posibles (J. T. Collins et al. 2020b)

investigación de forma local. Los componentes necesarios pueden ser adquiridos de forma confiable, garantizando la provisión. A su vez, las estancias de intercambio hicieron que STICLab cuente con profesionales capacitados para producir y reparar los microscopios de manera independiente. Las usuarias, en el IHI, también desarrollaron entrenamientos en reparaciones básicas, para sólo tener que acudir a STICLab en caso de problemas mayores.

Unida a esta capacidad se encuentra la capacidad de generar pequeños emprendimientos locales con un modelo de negocios sostenible basado en la apertura. Se trabaja aquí sobre el supuesto de que al igual que en el software de código abierto, las oportunidades de negocio basadas en el hardware abierto son posibles y poco exploradas. STICLab ha comercializado algunos modelos, y se encuentra en camino a acordar con el gobierno local la autorización para proveer a escuelas. A partir del préstamo inicial de algunos microscopios, la universidad de Dar es-Salam mostró interés en adquirirlos. Uno de los puntos clave para poder comercializar el microscopio de alta precisión es obtener la certificación CE que garantiza conformidad con las normas de salud, seguridad y protección del medio ambiente mínimas que rigen en el mercado europeo, dado el origen europeo del diseño.

Otra capacidad importante para el equipo es la de poder producir equipos de alta precisión y calidad, aptos para la investigación científica y adaptados a las

necesidades de las diferentes usuarias. Ya sean universidades, escuelas o institutos de investigación, poder desarrollar vías de comunicación que permitan incorporar las mejoras que estas usuarias consideran importantes en términos de accesibilidad, innovación y durabilidad. Stirling comenta cómo los incentivos académicos influyen en este problema de la calidad:

En muchos proyectos, el modelo académico de «publico un artículo, hago algo y paso a otra cosa» [...] Si alguien quiere usar [tu proyecto de hardware] en su laboratorio, ¿cuánto debugging necesita? No es tan útil como algo que ha sido diseñado como un producto.

Más allá de las normas de calidad para poder comercializar el producto, la capacidad de producir un artefacto de alta calidad localmente está lograda. El trabajo a largo plazo del equipo permitió diseñar pruebas de resistencia mecánica, pruebas de fatiga y otras que permiten generar datos confiables. Esos datos permiten aseverar que el microscopio funciona, y su vida útil estimada.

La capacidad de adaptar el diseño al uso se ve probada en las iteraciones entre el personal técnico del IHI y los fabricantes en STICLab. Las sugerencias propuestas por Joram fueron mayoritariamente implementadas, derivando en una segunda versión que incluyó no sólo cambios a nivel de software a nivel de usuaria sino desarrollo de una aplicación móvil dedicada. Mduda comenta al respecto: “*Tengo una persona, un pasante, que aprendió en tres días y ahora es capaz de usar el microscopio*”.

Si consideramos al personal de STICLab como «usuaria» del primer diseño originado en Bath, también los integrantes del makerspace adquirieron la capacidad de modificar el diseño para ajustarlo a sus necesidades. El diseño de la carcasa de transporte, el cambio en la lista de materiales para poder obtenerlos fácilmente, permitieron que los fabricantes co-desarrollen junto al equipo en Bath.

En términos de impacto, la capacidad de poder influir a través del proceso en soluciones a problemas de desarrollo local está en proceso. Las pruebas para reducir la carga laboral sobre el escaso personal técnico en diagnóstico de malaria siguen en período de prueba. Para Mduda es fundamental que se pueda acelerar el proceso de diagnóstico:

La demanda de diagnósticos diarios es grande comparada con el número de técnicos [...] si la gente obtiene un diagnóstico más rápido obtendrá los tratamientos adecuados y los tratamientos correctos implican que la gente va a estar sana, y siguen trabajando, y generando ingresos.

Otro uso planificado de OF es la venta a universidades, que no suelen contar con instrumental para que los estudiantes utilicen. Mduda también comenta sobre este problema que vivió cuando estudiaba:

Algunas personas completan sus estudios en las universidades y algunas de ellas ni siquiera saben cómo se ve la malaria en la realidad, no en la foto [...] si tenemos la oportunidad de aplicar esto a la enseñanza, al sistema educativo, creo que sería útil para ellos.

Una de las capacidades quizás implícitas en las definidas por el proyecto pero no explícitamente mencionadas es la de generar nuevas ideas a partir de necesidades locales. Las usuarias en el IHI por ejemplo están interesados en iniciar un proyecto de automatización que vaya un paso antes al análisis de muestras. Uno de los principales problemas que encuentran en el día a día es que la calidad de las imágenes depende de la calidad del preparado de la muestra. Mduda comenta que lo que están planificando es automatizar este paso de preparado, para poder obtener mejores imágenes en lugares donde no se cuenta con técnicos: *“una máquina que no implica mucha tecnología [...] ayudaría al técnico, una máquina de teñido automático que preparara la muestra para ingresarla al microscopio”*.

7.3.6.2 Capacidades ausentes y otros limitantes

Como en todo proyecto de hardware abierto, la documentación es el centro que permite que los actores colaboren y contribuyan al desarrollo. Actualmente, la capacidad de actores por fuera del equipo original de colaborar con el proyecto es limitada. En parte porque mejorar la documentación es una tarea laboriosa que toma mucho tiempo, en parte porque el software muchas veces vuelve la tarea más complicada. En palabras de Stirling, *«No creemos que el co-diseño sea intrínsecamente menos eficiente, pero sí que las herramientas que necesitaríamos para hacerlo eficazmente no están disponibles»*.

En software, el trabajo con control de versiones está ampliamente diseminado y es utilizado como un estándar en la industria. En hardware, aunque cada vez más utilizado, no está aún totalmente incorporado, especialmente en proyectos comunitarios. Sin embargo, se vuelve un requisito imprescindible si se pretende que los desarrollos sean colaborativos, sumando sobre lo que otros equipos trabajan. Todos los archivos de diseño de OF están alojados en GitLab. Trabajar con la plataforma demanda una cierta curva de aprendizaje, que hasta el día de hoy genera desajustes en el equipo. La barrera es tan importante que parte del equipo de

Bath está desarrollando una interfaz más sencilla orientada a hardware, denominada GitBuilding.

Otra de las herramientas fundamentales es el software de diseño asistido (CAD), ampliamente difundido a nivel global, con interfaces gráficas que facilitan el acceso a públicos más amplios. Sin embargo, de acuerdo a su historia y formación, algunas personas manejan algunos programas y no otros. Considerando apertura y utilidad, el equipo desarrollador utilizó desde el comienzo OpenSCAD. Éste difiere del resto de los programas en que su principal interfaz de uso no es gráfica, sino a través de código. Dada la formación del equipo en Bath (todos son físicos) OpenSCAD resulta más eficiente y provee mayor control que sus alternativas, pero definitivamente no es accesible al equipo en Tanzania, ni a otros que no posean esa formación.

En términos de infraestructura, la desigualdad de condiciones entre países y contextos, implica que algunas estrategias que se asumen simples en Bath no funcionen en Tanzania. Stirling comenta sobre estas diferencias:

desde un taller en Dar es-Salaam uno puede tener que encontrar una computadora portátil y conectarla a un teléfono antes de poder responder a una pregunta en GitHub [...] Este inconveniente extra lleva la conversación a plataformas como WhatsApp, que no son ni públicas ni sencillas de archivar y buscar

Existe un esfuerzo desde el proyecto por minimizar las desigualdades estructurales entre los equipos en Tanzania y en Inglaterra. Sin embargo, la confianza que tienen los mismos habitantes de Dar es-Salam en STICLab como proveedor local es un factor a trabajar. Stirling menciona cómo utiliza a su favor los prejuicios coloniales para aumentar la buena imagen de STICLab entre los locales: “*Es realmente desafortunado, pero «soy un inglés que recién llega, ¿puedo visitar su organización?» es más exitoso que «hola, soy STICLab, ¿puedo visitar su organización?»*”

La relación con la universidad es otro factor especialmente importante para el equipo en Bath. Las oficinas de transferencia tecnológica no están capacitadas en el uso de licencias abiertas, y por lo tanto suelen presionar a los equipos desarrolladores a patentar sus invenciones. En el caso de OF, las innovaciones fueron publicándose bajo licencias abiertas de forma modular, poco significativa, de manera que no fuera algo «tentador» que la universidad busque patentar. Actualmente el equipo busca activamente el diálogo con la oficina de transferencia tecnológica de Bath para impulsar una vía de asesoramiento interna en hardware abierto y sus esquemas de licencias disponibles.

7.3.7 Síntesis del caso

Se presentaron los resultados del análisis del proyecto Open Flexure a partir de entrevistas a tres de sus participantes en diversos roles y del análisis de documentación pública. En tres años, el equipo logró pasar de un diseño prototipo a un desarrollo que puede ser fabricado a bajos volúmenes respetando normas de calidad, apto para investigación clínica. Lo hizo a través de un proceso de coproducción que permitió construir capacidades en el makerspace STICLab, habilitando su rol de co-desarrollador, fabricante y comercializador del microscopio en Tanzania. En este proceso de coproducción y adaptación a las condiciones locales a la vez, el rol de las usuarias del microscopio fue fundamental, testeando funcionamientos y proponiendo mejoras. Este rol activo además generó nuevos proyectos de automatización y reubicó el problema desde la falta de infraestructura a la falta de recursos humanos para el diagnóstico de la malaria.

Para habilitar todos estos procesos, se realizaron intercambios en forma de largas estancias entre el equipo inglés y tanzano que llevaron a la construcción de un lenguaje común a pesar de las grandes diferencias culturales. El diseño modular y orientado a la usuaria, la fabricación en ciclos iterativos, la división de tareas en el desarrollo y fabricación y el diálogo interdisciplinario son claves para facilitar estos proyectos. Este gran trabajo en términos de diálogo entre culturas contrasta con la nula diversidad en términos de género en el proyecto. Los aprendizajes del proceso de coproducción se documentan y hacen disponibles online, recibiendo colaboraciones principalmente en módulos de software.

El análisis de capacidades permite observar que la autonomía en la construcción del artefacto y la utilidad en la producción de conocimiento son los factores principales que los participantes consideran como alcanzados, además de la capacidad de sostener la iniciativa a partir de poder comercializar los microscopios. Una de las capacidades más interesantes en OF es la de producir artefactos que cumplan con criterios y tests de calidad, probablemente derivado del hecho de que se trabaja continuamente sobre el proyecto hace tres años. Aunque no mencionada inicialmente, la capacidad que habilita las anteriores es la de poder trabajar de forma colaborativa, o coproducir.

La capacidad de reparación de los artefactos también fue relevante, así como la de idear nuevos proyectos a partir de esta experiencia, en todos los participantes incluidas las usuarias. El uso del espacio online como fuente de colaboración resulta fructífero aunque demanda de esfuerzos constantes por parte del equipo. Algunas de las barreras que se identifican para este tipo de colaboración es la falta de software adecuado para colaboración en hardware, y las barreras de acceso dada

Cuadro 7.2: Cuadro síntesis del caso Open Flexure

Contexto	Quiénes participan	Cómo participan	Capacidades
Problematicación			
costos prohibitivos, equipos no adaptables, equipos no reparables, dependencia	Perfiles desarrolladores Físicos (UK) Programadores (UK) Ingenieros (TZ)	Estrategia Desarrollo de prototipo en UK co-desarrollo y producción en TZ, pruebas con usuarios en IHI	Esperadas Autonomía diseño Usabilidad local Desarrollos de calidad Reparabilidad Circuito corto de comercialización
Visión			
autonomía, reparabilidad, circuito corto comercialización, sostenible	Perfiles usuarios Técnicos de laboratorio que realizan diagnóstico de malaria	Habilidades técnicas requeridas programación electrónica básica impresión 3D óptica/microscopía técnicas de diagnóstico software especializado otras habilidades	Logradas Nuevas funcionalidades Equipos usables localmente Pruebas de calidad superadas Equipos reparables
Innovación			
Bisagras flexibles impresas, apto para investigación, accesible	Nuevos actores STI/Clab makerspace	participación en foros virtuales gestión de proyecto	Logradas no esperadas Alto impacto en diagnóstico Lenguaje común co-desarrollo Nuevas ideas y proyectos Expertos locales
Etapas			
adaptación del prototipo, teraciones con usuarios, prueba piloto	Género Mujeres sólo como usuarias	fuentes de habilidades equipo interdisciplinario visitas formación entre equipos co-desarrollo	Limitantes Participación TZ en desarrollo Participación mujeres en desarrollo Proceso lento de comercialización
Financiamiento inicial			
Fondo cooperación con países en desarrollo (UK)	Minorías en ciencia	Metodología de trabajo	Barreiras Software de diseño Infraestructura telecomunicaciones Falta estrategias de género Burocracia estatal: venta a escuelas Certificación calidad
Modalidad			
Prueba piloto en IHI	Estrategias de inclusión Documentación audiovisual Foros de discusión Interfaces gráficas, UX	Usuarios Canal abierto durante pruebas piloto con técnicos de diagnóstico en el IHI	
Sostenibilidad			
Venta de equipos a escuelas Servicios de reparación, Proyectos derivados monetizables		Documentación Especificaciones técnicas Durante desarrollo Toma de decisiones Aprendizajes simbólicos Desarrollo de lenguaje común Empatía ante barreras culturales Apertura y colaboración Uso de licencias CERN OHL 1.2	

la complejidad del desarrollo.

7.4 Proyecto Vuela

Bloque: Proyectos comunitarios

7.4.1 Introducción al caso

Vuela es un proyecto nacido en el año 2017 en la ciudad de Melipilla, Chile, al pie del Cerro Sombrero, iniciado por Paz Bernaldo y Gustavo Pereyra Irujo luego de conocerse en la reunión global GOSH en Chile. Desde entonces Vuela construye drones de código abierto para investigación científica tanto comunitaria como académica.

Antes del encuentro en 2017, Bernaldo trabajaba con una comunidad de vecinos en zonas vulnerables de Melipilla en proyectos de inclusión social a través de la fabricación colaborativa de tecnologías simples. Estos talleres donde se construían luces con elementos reciclados fueron financiados por un subsidio pequeño de la fundación holandesa «*Age of Wonderland*». Tanto los talleres como otras actividades realizadas con artistas locales contribuyeron a crear lazos de confianza con la comunidad local.

Estos talleres habían finalizado hacía poco tiempo cuando sucedió el encuentro GOSH 2017 en Chile. Allí se conformaría el equipo entre Bernaldo, que buscaba nuevas ideas para seguir trabajando con la comunidad, y Pereyra Irujo, ingeniero agrónomo e investigador CONICET en INTA Balcarce, que se encontraba experimentando con drones para investigación en agricultura desde 2013.

Invirtiendo fondos propios y luego a través de un subsidio de la organización «*Knowledge, Culture, Ecologies*», Vuela realizó una serie de talleres con la comunidad de Melipilla durante 2017. El objetivo de los talleres era construir un dron de código abierto con los vecinos de una comunidad vulnerable de la zona, que sirviera para trabajar algunas de las problemáticas que vivían a diario y como instancia de empoderamiento a través del aprendizaje con tecnologías. Más allá del dron como artefacto, Vuela es también un experimento que intenta responder a la pregunta ¿Quién puede producir conocimiento y tecnología? ¿Para qué?

A través de la participación en los talleres y las conversaciones con diversos investigadores, los vecinos de Melipilla llegaron a formular un problema a trabajar usando el dron. Muy cerca del cerro donde se ubican sus casas existe una cantera que la municipalidad dice haber cerrado pero que los vecinos aseguran sigue en funcionamiento, y resulta peligrosa para quienes habitan los alrededores. Quizás el

drone se podría usar para sobrevolar la cantera y fotografiar la actividad, generando pruebas para presentar ante la municipalidad.

En los talleres los vecinos lograron construir un drone a partir de copiar el «Flone», un diseño español abierto, fácil de fabricar, económico y con materiales fácilmente accesibles desde cualquier lugar. Una vez conseguido este objetivo, en 2018 un fondo de Mozilla Science permitió seguir con las actividades, ya que el Flone necesitaba mejoras para poder tomar imágenes que fueran útiles.

Estas modificaciones, que se hicieron no solo en talleres en Melipilla sino también en talleres itinerantes en Balcarce, Buenos Aires y Mendoza, mejoraron la estabilidad, maniobrabilidad y usabilidad del drone, cuyo nuevo diseño fue denominado «Meliflone». Una vez agotado el financiamiento, aunque el Meliflone se convirtió en una versión mejorada del Flone, todavía no servía para tomar imágenes aptas para la investigación.

Fue así que con el fin de convertir al Meliflone en un drone de código abierto capaz de cumplir funciones de herramienta de investigación, en 2019 Vuela consigue un financiamiento del Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y AgroIndustrial del Cono Sur (PROCISUR). Este fondo, aún activo, tiene como objetivo equipar a los institutos de tecnología agropecuaria de distintos países latinoamericanos con drones de código abierto aptos para la investigación en agricultura y cambio climático.

Esta versión mejorada del Meliflone se denominó «Objeto Volador Libre» (OVLI), y fue producida en conjunto con investigadores de los institutos de tecnología agropecuaria de siete países latinoamericanos, en talleres itinerantes. Los OVLI que se construyen en cada taller quedan para los investigadores que los fabrican, y en algunos casos ya los están volando.

Desde el inicio del proyecto en 2017 hasta hoy, Vuela construyó drones en centros vecinales con participantes que no hablan español, que no tienen ningún tipo de conocimiento previo sobre drones, con estudiantes, con activistas en espacios comunitarios, con investigadores en ámbitos formales. El proceso fue documentado en diferentes plataformas y puede accederse, junto a toda la documentación para fabricar un OVLI, en la [página web del proyecto](#).

7.4.2 Coproducción radical

La hipótesis principal de trabajo detrás de Vuela viene desde los primeros talleres de fabricación de luces en Melipilla. La idea que guía el trabajo es que



Figura 7.8: Vuela: Múltiples versiones de los drones para ciencia comunitaria (fuente: Instagram)

la segregación y marginalización de las personas en los espacios físicos tiene un correlato con su exclusión también de los espacios digitales, y que esta segregación está relacionada con el acceso diferencial de distintos grupos de personas al conocimiento y la tecnología. A partir de esta idea, los talleres se piensan como instancias de desarrollo de capacidades en ciencia y tecnología que empoderan a los participantes para disminuir esa brecha en el terreno de lo digital, y quizás, también en el espacio físico.

En una entrevista en 2017 Bernaldo expone estas ideas que surgen a partir de observar problemas en relación al territorio urbano en Melipilla, y su extrapolación al territorio digital:

Si queremos que este lugar deje de ser segregado y se utilice este cerro urbano como un espacio transformador, de innovación y para la acción colectiva, ¿Cómo podemos utilizar aquello que parece ser tan sencillo para la gente, como es lo digital, para generar ese empoderamiento a nivel material? El espacio público puede ser lo digital, internet o las tecnologías de la comunicación, y también puede ser un espacio material, físico.

La génesis de Vuela trae aparejadas ideas críticas sobre teorías del desarrollo y descolonización del conocimiento que hacen un fuerte énfasis en la coproducción. En este contexto el hardware abierto es visto como una herramienta que facilita los procesos locales de coproducción de conocimiento y tecnología. Poder acceder a los diseños de las herramientas es considerado un requisito fundamental para poder mejorarlas, adaptarlas y usarlas en contexto. Bernaldo resalta la dimensión de poder asociada a lo tecnológico:

la democracia no sólo pasa por votar para las elecciones sino también pasa por cómo se genera el conocimiento [...] quienes acceden a las tecnologías finalmente están marcando tanto fenómenos económicos, como laborales

La participación en GOSH 2017 tuvo un impacto crítico tanto en términos de formación de equipo como en la construcción de los objetivos del proyecto. Tanto Bernaldo como Pereyra Irujo tuvieron un rol clave en la escritura colaborativa de la hoja de ruta de la comunidad; Vuela fue diseñado, entre otras cosas, como una «prueba piloto» de las ideas del manifiesto GOSH.

Quizás por esa razón uno de los objetivos principales de Vuela es que su proceso de producción de conocimiento científico/tecnológico incluya actores que

normalmente no participan en ámbitos de investigación, y en lo posible que a partir del proyecto interactúen con investigadores formales. Pero además, que los colaboradores y sus conocimientos sean respetados, estando en pie de igualdad. En una entrevista en 2019, Pereyra Irujo señala la influencia de las ideas de GOSH en el proyecto: “*el roadmap y los objetivos de GOSH siempre los teníamos como guía [...] a Vuela lo consideramos como enmarcado dentro de los objetivos de GOSH [...] siempre lo pensamos así y creo que lo seguimos pensando así*”.

7.4.3 Fabricando desde abajo

Una de las características más interesantes de Melipilla, a una hora de Santiago, es la composición de su comunidad. En los últimos años ha habido un crecimiento significativo de la inmigración en la ciudad, particularmente desde Haití. Los inmigrantes sólo hablan haitiano criollo, aunque algunos comienzan a aprender algunas palabras de español, y se asientan en las zonas menos privilegiadas de la ciudad. Las Juntas de Vecinos, que les brindan asistencia en los diversos barrios, son la principal vía de contacto entre Vuela y la comunidad.

Los talleres de Vuela en Melipilla congregaron en promedio 15-20 personas, en su mayoría inmigrantes haitianos pero también vecinos chilenos, miembros de la Junta Vecinal, miembros de la red GOSH que ocasionalmente participaban de los talleres. La convocatoria se realizaba a través de las Juntas Vecinales. Los participantes haitianos acudían a los talleres con una actitud de experimentar y socializar, mientras que los los participantes chilenos enviaban a sus niños o hijos adolescentes, de forma más esporádica. Antoni Pérez, técnico electrónico y uno de los colaboradores claves de Vuela, cuenta en una entrevista en 2020 que “*muchos de los participantes que iban [a los talleres en Melipilla] eran mujeres amas de casa de la comunidad haitiana, otros eran jóvenes adolescentes que estaban curiosos, otros personas que tenían cualquier trabajo que no tenía nada que ver con eso*”.

Desde el inicio en 2017, unas 175 personas participaron en total de los talleres de Vuela. A medida que fue avanzando, el proyecto fue incorporando nuevos actores: miembros de un hackerspace comunitario en Buenos Aires, activistas del software libre, académicos/activistas con interés en procesos de ciencia comunitaria. Al llegar a la etapa financiada por PROCISUR, la participación estuvo compuesta principalmente por investigadores de los diferentes institutos de tecnología agropecuaria que son parte del proyecto en Argentina, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay. Además de la colaboración presencial, Vuela mantiene una presencia virtual que atrae a diversos colaboradores en línea. Algunos de ellos incluyen al creador original del Flone, Lot Amorós; al Ing. en sistemas Guillermo Pereyra Irujo;

la Ing. Alejandrina Egozcue, especialista argentina en drones, y miembros de la comunidad Mozilla que colaboraron en aspectos específicos.

En particular en el caso de las comunidades más vulnerables, uno de los objetivos de Vuela es lograr el empoderamiento de los participantes, que a través de la construcción de tecnología cambie el grado de confianza y la percepción sobre sí mismos. Bernaldo expande este concepto:

Que piensen sí, puedo participar, puedo compartir lo que aprendí, lo que fabricué con otros, no soy el tonto o el inútil que me dijeron siempre que fui [...] pasa mucho en estas comunidades marginales, toda la vida les han dicho que no saben hacer nada, que son unos tontos o que son unos flojos

Aunque la participación fue diversa en términos de perfiles, un denominador común a través de todas las etapas del proyecto fue la baja proporción de mujeres y personas no binarias presentes en los talleres. Replicando un patrón reconocido en ciencia y tecnología, las mujeres acudían a los talleres pero normalmente no se involucraban con las tareas técnicas. Bernaldo reflexiona sobre este patrón que reconocía en ella misma: «*las mujeres en el taller no solíamos practicar de volar el drone*». Algunos de los problemas identificados incluían desde los comentarios despectivos de participantes varones sobre la habilidad de las participantes mujeres («*¡Cuidado, una mujer está manejando!*») hasta mujeres que dejaban de asistir a los talleres porque sus parientes varones no lo veían bien («*no quiero que venga mi novia, tiene que hacer otra cosa*»). El equipo implementó un código de conducta y además de intentar discutir la problemática de género en las sesiones, los materiales de comunicación se diseñaron con perspectiva de género. Esto incluyó la elección de imágenes que no refuerzan estereotipos de mujeres «mirando cómo otros hacen» sino que incluyen, por ejemplo, mujeres manejando drones; modificar el lenguaje para incluir el género femenino («*están invitadas e invitados a participar*»). Aunque las barreras de género fueron fuertes, las mujeres también ocupaban otros roles, tanto o más relevantes, como se describe en próximas secciones.

7.4.4 Domingos de drones

Una de las preguntas que surgen primero cuando se piensa en Vuela es ¿para qué un drone? Producir, modificar, volar y tomar imágenes con un drone es una tarea compleja. Los drones comerciales son objetos costosos, por lo general frágiles. ¿Por qué no construir algo «más útil», en especial si se trata de un proyecto con una comunidad vulnerable?

La pregunta tiene en principio dos respuestas. La más inmediata es que Pereyra Irujo tenía experiencia previa en drones a partir de su trabajo en INTA Balcarce, donde había conseguido un fondo que le permitió comprar un drone mucho antes de comenzar Vuela. La otra lectura tiene que ver con el rol de la tecnología como objeto de deseo. Un drone es un artefacto atractivo, brillante, que permite observar lo que nos rodea desde otros ángulos y hacer cosas, como volar, que normalmente no podemos hacer. Es un objeto caro, que salvo excepciones donde se lo usa para trabajar, la gente lo compra para divertirse y filmar videos, no se suele pensar como herramienta.

Lograr fabricar un objeto tan atractivo y que funcione, es emocionante, o como dice Bernaldo “*llama el niño que tenemos adentro*”. Volar un drone se parece mucho a jugar, para volarlo se utiliza un radiocontrol. En este punto vale preguntarse si una comunidad vulnerable debería estar condenada solo a construir artefactos productivos, o si también puede fabricar artefactos que sean simplemente deseables e inviten al juego. Se puede pensar que esto quizás tiene algo que ver con la atención que Vuela sostuvo en Melipilla durante meses, a pesar de que los talleres se realizaban los domingos, que la mayoría de los participantes no hablaban el idioma, que el centro vecinal no contaba con la mejor infraestructura y que los participantes podrían haber elegido quedarse descansando en su casa después de trabajar toda la semana.

Los participantes de los talleres en Melipilla se autodenominaron «la tripulación». La experimentación y lo lúdico, tan cercanas al corazón hacker de la práctica del hardware abierto, están muy presentes en Vuela. El error o la equivocación es visto como algo altamente valioso, a documentar. Todo el proyecto se configura alrededor de la idea de trabajo colectivo colaborativo, la disminución de barreras a la participación y la democratización del espacio aéreo: «*Vuela es una invitación a volar*».

7.4.5 Construcción del problema

Más allá del uso experimental y lúdico, una de las propuestas de Vuela fue utilizar la fabricación del drone para cuestionar, por ejemplo, quién tiene derecho a utilizar el espacio aéreo. La propuesta del drone resulta atractiva porque permite pensar varios usos, por ejemplo problematizando de forma práctica quién puede volar y quién no dadas las restricciones para volar en espacios urbanos, entre otros. Bernaldo comenta cuál era el objetivo de estas discusiones:

No queríamos al final del proceso tener a un grupo de personas entusiasmados por los drones porque sí, obsesionados con volar para



Figura 7.9: Vuela: parte de «la tripulación», participantes de los talleres en Melipilla (fuente: [Instagram](#))

tomarse selfies aéreas

El financiamiento para los primeros talleres en Melipilla, provino de un evento denominado *Knowledge, Culture, Ecologies (KCE)* que ese año sucedió en Chile. KCE es un evento organizado por el Institute for Culture and Society (ICS) de la Western Sydney University, que reúne investigadores en estudios sociales de la tecnología, ecología política, antropología, geografía y las humanidades ambientales para pensar los diferentes aspectos de lo socio-técnico-ecológico. Ese fondo pequeño de KCE permitió realizar una serie de encuentros con los vecinos, fabricar el dron y poder volarlo durante el día del evento con los investigadores. El programa del evento muestra cuál era el objetivo de este taller:

La conversación girará en torno a la fabricación y mapeo con volantines, globos y flones durante los meses previos a KCE, y al proceso de definición de problemas y potencial de resolución de éstos al experimentar con tales tecnologías en el espacio público [...] La idea es combinar el conocimiento local con los enfoques investigativos de los participantes de KCE.

El «precalentamiento» para poder construir el dron en la comunidad incluyó ejercicios con globos y otras tecnologías menos complejas. A medida que avanzaban los talleres y la copia del Flone, empezaron a surgir discusiones sobre qué se podría hacer con el dron. Bernaldo e Irujo rescatan el rol de dos colaboradores en particular

en esas conversaciones, Daniela Muñoz («*una tipa muy, muy aguerrida, con mucha personalidad y muy segura de sí misma*») como la describe Bernaldo), dirigente de la junta de vecinos, y Juan Muñoz. Cuando llegó el día de la muestra en el evento de KCE, estas conversaciones se plantearon con los investigadores, y el problema comenzó a tomar forma. Pérez detalla cuál era la situación en Melipilla que los vecinos decidieron trabajar:

Se evaluaron varias cosas pero al final lo que pegó más fue hacer una vigilancia en una cantera que estaba cerca de una zona que estaba siendo habitada [...] habían construido casas muy cerca de ese cerro y estaban haciendo extracciones de tierra, representando un peligro para las personas que viven cerca de ahí [...] la alcaldía decía que pararon las obras pero la comunidad decía que se seguía extrayendo material de forma ilegal [...] la idea era utilizar el drone para llevar un registro de la actividad con fotos aéreas

La formulación del problema iba a tener efectos directos sobre el diseño del drone, y sobre los talleres a futuro tanto con la comunidad como con otros actores. Pereyra Irujo comenta cómo el contacto con los investigadores de *Knowledge, Culture, Ecologies*, reorientó el proceso de construcción:

Lo que sacamos un poco en limpio fue una serie de limitaciones que tenía el drone como herramienta científica [...] dijimos bueno si queremos que este hardware, que era un drone como para volarlo y tomar fotos nada más, fuera hardware científico, había que hacerle mejoras.

Poder formular la actividad comunitaria de los talleres en términos de problema de conocimiento brindó un punto de contacto entre lo que se hacía con los vecinos y otras actividades con actores diferentes. El financiamiento de Mozilla Science que permitió la realización de los talleres de esta nueva etapa post-KCE incluyó talleres en INTA Balcarce, en espacios comunitarios de Buenos Aires y en Mendoza, donde nadie tenía problemas con una cantera; el objetivo era mejorar la capacidad de producción de conocimiento a través del uso del artefacto. En esta instancia el discurso se movió más hacia el eje de la autonomía, la soberanía tecnológica y la posibilidad de contar con tecnología que se puede producir, adaptar y reparar.

Utilizar la apertura del drone como punto de partida para una conversación entre actores y usos muy diferentes facilitó que el proyecto pudiera seguir su curso a través de otras vías distintas a las imaginadas inicialmente, como los talleres institucionales

financiados por PROCISUR. Pereyra Irujo comenta cómo Vuela llegó a trabajar con los institutos que integran PROCISUR:

escribí [en el llamado a proyectos] todas las ventajas del hardware científico abierto, la soberanía tecnológica, no depender de un drone chino con software yankee, que comprabas todos los drones y tres años después ya no había servicio técnico [...] que estaría bueno tener una tecnología adaptada y adaptable a las condiciones de cada lugar y a los objetivos de investigación [...] y lo compraron, sobre todo porque era más barato que salir a comprar drones, pero bueno tuvimos aprobado el financiamiento para hacer talleres en todos esos países.

7.4.6 Espacios que configuran la participación

Vuela brinda la oportunidad de rastrear, a lo largo de sus etapas, la influencia de los espacios en los modos y la diversidad de la participación. Quizás el factor más visible de esta relación se ve en cómo el desarrollo de talleres en la comunidad, en espacios que originalmente no están pensados para diseñar y construir artefactos, permitió que llegaran participantes inesperados. Pereyra Irujo comenta sobre esta situación:

Al principio nosotros dijimos bueno, encontramos que una de las ventajas de este proyecto del Flone es que eran españoles entonces todo estaba en castellano [...] mejor, va a ser más fácil para todo el mundo porque está en castellano [...] después Paz [Bernaldo] empezó a organizar los talleres en Melipilla... Y se llenó de haitianos que casi ni hablaban español [risas]

Loulou Jude fue uno de los haitianos que primero llegó a los talleres de Vuela en 2017. No faltó a ninguna de las sesiones siguientes, pasando a formar parte esencial del equipo. Pérez comenta sobre la participación de Jude:

[con Loulou] no había mucha comunicación verbal por la barrera del idioma [...] al final, cuando se hizo el evento de Knowledge, Culture, Ecologies había un traductor de creole, y le preguntaron a Loulou de qué trabajaba, y él dijo que era electricista en Haití... ¡Y nosotros no teníamos idea!

Las estrategias utilizadas por el equipo para poder comunicarse fueron variadas: el armado de materiales audiovisuales con audios en criollo haitiano, la traducción

por parte de aquellos haitianos que dominaban algo de español, la creación de la primera versión de la documentación del taller en criollo haitiano antes que en español. De esa forma, utilizando servicios automáticos de traducción y su propia experiencia, los organizadores eran los que tenían que verse en el papel de traductores al español. Pereyra Irujo retoma algunas de las escenas que se veían en los talleres: “*estar dos personas en los talleres tratando de soldar una cosa y estar hablando, escribiendo en el teléfono y traduciendo con Google al mismo tiempo, eso pasó varias veces*”.

El espacio comunitario impuso otro tipo de barreras que no estaban presentes en los espacios institucionales. La principal barrera a la participación sostenida en el tiempo, especialmente para los inmigrantes, era el carácter voluntario de la iniciativa. Bernaldo detalla algunos de estos problemas: «*la precariedad en la que muchos viven, cambiando de ciudad constantemente en busca de empleo, con sueldos insuficientes y estrés, hace que involucrarse en un proyecto de largo plazo sea difícil*”. Para participar, los vecinos de Melipilla debían resignar horas de descanso o trabajo; mientras que los investigadores que participaron de los talleres durante la etapa de PROCISUR lo hacían durante la jornada laboral. Las estrategias para que la comunidad participara incluyeron desde cubrir sus gastos de transporte hasta “amigarse» con la participación esporádica, ya sea de una sola vez o en un momento específico del taller si llegaban más tarde.

Una de las formas más visibles en que los espacios configuraron la participación fueron las asimetrías de infraestructura entre los centros vecinales donde faltaba acceso a computadoras, conexión estable a internet, o incluso lugares de reunión para trabajar; y los espacios de los centros de investigación o espacios de innovación. Las estrategias del proyecto incluyeron utilizar fondos para costear planes de internet móvil limitados que se usaban en los talleres, o colaborar con espacios que contaran con infraestructura apropiada, como el club de innovación en Balcarce.

Por otro lado, Vuela no cuenta con lugar propio, lo que hace que las reglas o la simbología de los espacios también configuren quién entra y quién no más que el propio proyecto. Bernaldo comenta por ejemplo, el caso de un taller desarrollado en un salón parroquial del barrio: “*ciertos grupos no han sido tradicionalmente bienvenidos por la iglesia católica, grupos que nos habría encantado tener como colaboradores y que no se iban a sentir bienvenidos allí*”.

Los espacios determinaron por completo el diálogo entre actores académicos y no académicos. Uno de los objetivos de Vuela era fomentar este diálogo entre distintos tipos de saberes a partir de compartir talleres. A través del desarrollo de los talleres, los organizadores se dieron cuenta del rol clave de la elección del espacio, que excluía



Figura 7.10: Vuela: pruebas de los drones a campo (fuente: [Instagram](#))

automáticamente a uno de los dos grupos. Los vecinos no acudían a los talleres organizados en la universidad o en institutos de investigación, y los investigadores no participaban de talleres fuera de los institutos. Pereyra Irujo ilustra este mecanismo con una anécdota:

Hacíamos una reunión acá en INTA y por más que invitamos a gente que no era de INTA, les decíamos vení, es libre para cualquiera, está abierto, venía una persona y porque conocía a alguno de acá o ya había venido antes [...] hacía la reunión en el Club Social de Innovación de balcarce y le decía a la gente de INTA que fuera ahí, que iba a haber gente de la ciudad, gente común pero también podía ir la gente de INTA, y no iba nadie.

En general, los centros de investigación suelen ubicarse alejados de los barrios, y demandan costos de transporte para los participantes. Bernaldo comenta sobre esta división: *«la periferia no va a ir al centro, o va al centro pero no a esto, va a ir a trabajar al centro o a buscar trabajo [...] el tema territorial es importante»*. La superposición ocurrió en ocasiones especiales, como la muestra final en el evento KCE donde los investigadores estaban invitados y dispuestos a asistir al taller que se desarrollaba en la cancha de fútbol del barrio.

La estrategia del proyecto para incorporar nuevos actores se basó principalmente en llevar los talleres cerca de donde vive gente que usualmente no participa de la producción de conocimiento y tecnología. La invitación al barrio también tenía otro propósito, más simbólico, de mostrar que también se puede hacer ciencia fuera de las instalaciones convencionales, como explica Bernaldo: *“[nos interesaba] que científicos de instituciones tradicionales pasen de decir «esto solo se puede hacer en un laboratorio profesional» a algo como «los laboratorios no son el único lugar, otras personas saben cosas que yo no»*.

Otro de los espacios que Vuela supo aprovechar es el espacio *online*. El gran esfuerzo de facilitación se tradujo en documentación muy completa, en múltiples idiomas y sencilla de entender para no expertos. Para documentar los avances en los talleres, por lo general otros proyectos de hardware abierto utilizan software de control de versiones, que no resulta accesible para personas que recién comienzan y no están familiarizadas con la herramienta. En Vuela el circuito fue al revés: la documentación se hacía en los talleres en afiches, post-its o una computadora abierta con un documento de Word, y luego esto se abría a los expertos desde los facilitadores, que traducían los avances y los obstáculos detectados.

Esto permitió abrir un canal con los expertos, a partir de documentar las

experiencias de los talleres comunitarios en *issues* o notas en la plataforma GitHub. La misma estrategia de llevar el taller donde está la gente se aplicó en este caso a llevar el taller donde están los expertos. Las discusiones en la plataforma muestran interacciones con el creador original del Flone, Lot Amorós, pero también con otros expertos como la Ing. Egozcue, productora agropecuaria que hace diez años fabrica y vuela sus propios drones. Su contribución en aspectos técnicos a través de la plataforma GitHub fue particularmente valiosa para el equipo. Bernaldo comenta sobre esta participación en particular:

ella empezó con los drones hace nueve años y sola, es productora agrícola [...] no la querían aceptar en el club local de aeromodelismo, la miraban así pésimo [...] se hizo experta con los drones porque es muy buena, los fabrica, los vuela y los utiliza para su trabajo [...] ella era una de la gente con la que colaboramos en línea

7.4.7 Ciclos de adaptación

La primera etapa de copia del Flone dejó en evidencia que algunas modificaciones iban a ser necesarias para poder usar el drone. Al ser de bajo costo, Flone no cuenta con todos los sensores y estabilizadores que vienen incluidos en los drones comerciales; se maneja casi totalmente de forma manual y requiere de práctica y destreza poder volarlo sin estrellarlo. Las actividades prácticas se enfocaron en hacer que el drone no sólo fuera más amigable para el «tripulante», sino que también pueda ser utilizado para obtener imágenes aéreas útiles para la investigación. Estos dos objetivos, accesibilidad y rigurosidad, orientan toda la actividad post-copia.

El control del vuelo del drone se hace a través de una aplicación para teléfono, conectado vía bluetooth. Bernaldo comenta por qué sin embargo, este método no era muy accesible: *”Tú generalmente pones el teléfono frente a tu cara, y si pones al teléfono frente a tu cara en el flone, se te venía el drone encima. La usabilidad era baja, la aplicación en fin, funcionaba, pero no era muy cómodo”*. El control del drone a través del teléfono se reemplazó por un radiocontrol como los que se utilizan en aeromodelismo, más costoso pero de mayor alcance, más robusto y seguro para que todos puedan volarlo.

La calidad de las imágenes se volvió un punto clave: las vibraciones del drone hacían que el teléfono alterara el foco, produciendo resultados borrosos. En la etapa PROCISUR se tomó la decisión de cambiar el teléfono por una cámara de bolsillo. Utilizando software de código abierto estas cámaras se pueden programar para tomar una determinada cantidad de imágenes en un período de tiempo,

además de permitir controlar otros parámetros como velocidad y exposición. Otras modificaciones realizadas por el equipo en los distintos talleres incluyen el agregado de motores más potentes y baterías de mayor capacidad, que permiten mayor tiempo de vuelo y cargar la cámara, más pesada que el anterior teléfono. El agregado de sensores GPS resultó fundamental no sólo para que sea más fácil el manejo, sino también para poder programar recorridos y asegurar repetibilidad.

Quizás la modificación que más evidencia la concepción del dron como herramienta científica sea que en los últimos talleres se incorporó la posibilidad de programar el artefacto para realizar recorridos y capturar imágenes de forma sistemática, utilizando una aplicación abierta con una interfaz gráfica similar a Google Maps. El criterio de diseño, siempre buscando la usabilidad por parte de no expertos, se puede observar especialmente en las interfaces, que más allá de ser físicas o digitales también son metodologías. Para evitar el problema de pedir coordenadas geográficas a las usuarias, un proceso que suele ser problemática, Vuela desarrolló un protocolo para el «tripulante»: La persona recorre todo el perímetro del área a relevar caminando con el teléfono, que guarda los puntos en un archivo. Ese mismo archivo se abre desde el software que controla el dron, muestra el recorrido hecho y a partir de ahí se programa que el dron haga el mismo recorrido. Una vez que el dron captura las imágenes, éstas se cargan en un software abierto que compone un mosaico del área, corrigiendo la perspectiva y posibles distorsiones.

Los drones se ensamblan y las partes se obtienen en un alto porcentaje con materiales y elementos locales, incluida la estructura de madera, los motores o los componentes genéricos. Como en la mayoría de los proyectos, las tarjetas controladoras deben importarse, en general desde China, casi siempre se compran vía plataformas online para ahorrar costos. Aunque son más económicas, tienen baja trazabilidad y muchas veces pueden fallar, como comenta Bernaldo:

algunas [tarjetas controladoras] funcionaban mal y otras funcionaban bien y no teníamos cómo distinguir [...] si tú estás haciendo un taller y te compras 2 tarjetas controladoras, cruzas dedos de que va a funcionar una, pero si estás haciendo una cosa más de largo plazo es todo un problema

7.4.8 Un idioma común

La complejidad de los proyectos de hardware abierto para ciencia se refleja en sus múltiples capas de trabajo: diseño del artefacto, electrónica, trabajo con software, interpretación de datos. Más allá de estas especificidades, ciertas habilidades son

transversales a casi todos los proyectos: saber usar una computadora, manejarse con comodidad para instalar un programa, descargar archivos, saber cómo buscar soluciones cuando algo falla.

En Vuela, los trabajos realizados en pos de fabricar, modificar, volar y apropiarse del dron, más allá de las distintas etapas, fueron siempre trabajos colectivos con un alto grado de facilitación. Quienes usan también fabrican: el aprendizaje se da sobre la marcha del mismo proyecto, siempre de forma colaborativa, con otros. En este sentido no sólo los participantes de los talleres atravesaron procesos de «domesticación» del dron en distintos niveles, sino que los facilitadores también formaron parte, anticipando y documentando los avances. Bernaldo comenta de qué forma atravesó ese proceso:

en un primer momento había cierta reticencia de mi parte, inconsciente [...] aprendía la teoría de cómo era que se conectaba, qué cosa, pero no lo hacía [...] pero luego tuve que empezar a meter mano porque no me quedaba otra, me necesitaban en el equipo

Uno de los aspectos más fuertes de la facilitación es la metodología de trabajo colaborativa, fuertemente anclada en el diseño iterativo. Como menciona Pérez, «si era por hacer el dron por nuestra cuenta en casa, hasta hubiera sido más rápido, pero no era la idea». En ninguno de los talleres hubo expertos en drones; la metodología implicaba intentar fabricar el artefacto siguiendo la documentación disponible hasta donde se pudiera, fomentando que los participantes se ayuden entre pares. Siguiendo las prácticas de la comunidad de hardware abierto, cuando se encontraban con un obstáculo se buscaban en internet posibles soluciones, gente que tuviera problemas similares, y se ponían a prueba. Una vez implementadas las soluciones, se documentaban para que queden para próximos talleres, mejorando la documentación original.

Pérez fue uno de los colaboradores que llegó a Vuela casi por casualidad. Uno de sus amigos, estudiante en la Universidad Católica de Chile, había conocido al equipo en GOSH 2017. El día del primer taller en Melipilla su amigo se enfermó y le pidió si podía reemplazarlo; Pérez, entusiasta amateur de la electrónica, aceptó pensando que iba a un curso en formato convencional sobre cómo fabricar drones. Rápidamente se convirtió en un experto y punto de referencia para los demás participantes:

de las personas que estaban ahí yo era uno de los que tenía perfil de trabajar con tecnología [...] Y aprendí un montón de cosas, como una forma de ver cómo sacar la estructura, o algo que estaba haciendo al revés y no me daba cuenta pero otra persona me ayudaba

Una de los objetivos más fuertes de las estrategias de facilitación es que los participantes pierdan el «miedo a romper», entendiendo que el error es valioso y que el drone es un «rompecabezas» que se arma entre todos. De hecho el error es celebrado; en el evento KCE donde se debía demostrar el trabajo hecho en los talleres, el drone se salió de control y se estrelló, pero fue recuperado y reparado por la tripulación, que lo hizo volar de nuevo. Bernaldo reflexiona sobre esto: *«me di cuenta que el proceso más interesante es aprender, equivocarse, seguir adelante y no frustrarse tanto, es una actitud»*.

Cada vez que se muestra un nuevo componente en un taller, los participantes discuten qué creen que es, para qué sirve, lo vuelven una discusión ligera. Los facilitadores intentan que los participantes sean quienes más toquen los componentes, en lugar de guiar ellos mismos el proceso. Algunos ejemplos de facilitación incluyen hacer mover a los participantes alrededor de las mesas, rotando los roles, evitando el uso de pizarras, presentaciones u otros elementos que evoquen el contexto de aula escolar, fomentando en cambio instancias de colaboración entre pares. Las personas rotaban para que todos hicieran todo, y los organizadores garantizaban que todos estuvieran al tanto del estado de avance en todo momento. Bernaldo comenta que no siempre funcionaba: *“Los niños del Club Social [de innovación, en Balcarce] seguían llamándonos «profesor» a pesar de que les insistíamos que no lo hicieran”*. Pérez rescata en este sentido la relevancia de la distribución del espacio: *«en la mesa todo estaba como distribuido, así hubiese un drone armado, siempre había piezas de otros y motores»*.

Con una gran proporción de inmigrantes que no hablaban español durante los talleres de Melipilla, Vuela tuvo que recurrir a nuevas estrategias. En la primera etapa o copia del Flone la barrera del idioma se sorteó a través de imitación, viendo cómo el otro participante hace la tarea; Pereyra Irujo se grababa a sí mismo construyendo el drone, y el video servía para que los participantes es fueran guiando en la construcción. La limitación se volvió más fuerte en la etapa de mejora del artefacto, cuando se hizo necesario tener conversaciones sobre qué modificar, cómo, para qué.

En este sentido los procesos de formación de pares fueron una de las estrategias fundamentales para lograr que los participantes fabriquen el drone. La documentación de los talleres se entregaba a uno de los participantes, para que corrobore si la comprendía o no, y se pudieran hacer las modificaciones necesarias. Pero además los participantes se capacitaban entre ellos; Pérez comenta cómo se daban estos procesos en los talleres:

Siempre llegaba alguien nuevo y siempre había alguien que le explicaba o

uno de ellos mismos, que ya se le había explicado, explicaba a otro que había llegado a veces el mismo día [...] llegaba alguien bien temprano y se le explicaba cómo soldar, cómo probar el motor y después nosotros ya estábamos haciendo otra cosa y llegaba otra persona, y ese primero ya le explicaba al otro como soldar

Aprender a trabajar de forma colaborativa e iterativa, valorando y hasta buscando el error, implicó que los organizadores también realicen un trabajo arduo de reflexión, aprendiendo a partir de los diferentes talleres hasta perfeccionar su metodología. En todas las etapas el financiamiento disponible se utilizó principalmente para la compra de materiales y costear traslados y alojamiento para talleres, en ningún momento los fondos cubrieron el trabajo de facilitación u organización. Este esfuerzo, no remunerado, es vital para la existencia del proyecto como comenta Pereyra Irujo: “*se necesita gente que esté todo el tiempo moviendo porque si no se cae, si no hay alguien pedaleando todo el tiempo, se frena*”.

7.4.9 Construcción de capacidades

Quizás la capacidad observable más directamente sea la de haber producido, en la escala de tiempo amplia, un drone de código abierto capaz de ser utilizado en investigaciones científicas. Para llegar a ese resultado se construyó un proceso a veces sincrónico (talleres) y otras veces asincrónico que permitió a algunos participantes adquirir habilidades técnicas y a expertos técnicos adquirir habilidades colaborativas, proceso en el cual fue fundamental la facilitación y la formación de pares, como comenta Pereyra Irujo:

Siempre llegaba alguien nuevo y siempre había alguien como que le explicaba o uno de ellos mismos, que ya se le había explicado, explicaba a otro que había llegado a veces el mismo día.

Los participantes adquirieron nociones básicas de electrónica, diseño y manejo de software. La metodología iterativa y colaborativa permitió que adquirieran estos conocimientos con barreras de acceso más bajas. Partiendo de la práctica, estos conocimientos específicos para la fabricación del drone pueden ser utilizados en próximos proyectos. Pérez comenta su propia experiencia con el drone:

creo que en general tuvimos una experiencia más profunda con el drone que la mayoría de las personas que lo compran, lo sacan de la caja

y lo usan [...] nosotros comenzamos desde la estructura, probar cómo funcionaban los motores, teníamos a veces errores de cómo giraban [...] estoy más familiarizado con el aparato, por haberlo ayudado a construir y ver las piezas por parte.

Fuera de la comunidad, la modalidad intensiva de 4 días de los talleres en PROCISUR implica que personas sin conocimiento previo de electrónica ni programación desarrollen un OVLI desde cero. A través de la participación en el foro virtual, algunos de los equipos que armaron drones en aquellas sesiones siguen en contacto, compartiendo experiencias y soluciones a problemas que encuentran en el camino. Bernaldo comenta al respecto como “*[en los talleres estaban] todos sorprendidos, nadie creía que era posible en 4 días gente que no tenía ninguna experiencia con drones, fabricar un drone y volarlo*”.

Otro de los logros interesantes en este sentido fue poder sortear la falta de confianza y «miedo a romper» de los no expertos, presente en todos los participantes al inicio de los talleres, ya sean vecinos o investigadores. Pereyra Irujo tenía experiencia previa en trabajar con drones a partir de su trabajo en INTA Balcarce, había podido comprar un drone con el que mucho antes de comenzar Vuela había estado experimentando. Sin embargo, recuerda que «*nunca le toqué un cablecito, nada, y eso que había funciones que no usamos y se podían sacar*». Adquirir el drone había implicado trámites de importación, aduana, costos de envío en dólares, era «*un instrumento irremplazable*». Su relación con los OVLI es diferente:

a los OVLI que tengo acá dando vuelta les cambio cosas, los vuelo mucho más tranquilo, porque sé que si se cae y se parte una pata lo puedo arreglar, me animé a meterle mano y hacerle modificaciones y a decir «ah me gustaría que fuera más grande, vuele más tiempo, sea más liviano, tenga tal o cual característica».

Quizás el ejemplo más claro de esta situación se encuentre en la capacidad alcanzada de reparar los instrumentos por cuenta propia. En este sentido, la demostración se impuso en uno de los talleres, donde la emoción de volar el drone recién armado hizo que dos participantes no dijeran nada a los facilitadores, omitieran los protocolos de seguridad y lo volaran (y estrellaran) inmediatamente, como comenta Bernaldo:

dos participantes fueron, agarraron el OVLI sin seguir ninguna de las instrucciones que les habíamos dicho y prendieron la radio, salió volando

y lo estrellaron [...] fue un choque terrible para todos, porque habían estado 2 días, todos construyéndolo [...] Y luego drama, como que todo así en shock, ellos pensando que su jefe los iba a echar [...] bueno, agarraron los restos, volvieron a la sala y en tres horas armaron otro nuevo porque llevamos materiales para hacer otro [...] nosotros no metimos la mano ni les dijimos que hacer ni nada, ni miraron el manual, lo armaron todo en tres horas de apurados, de asustados [...] y anduvo y voló y todo.

La capacidad de trabajar en grupos diversos y colaborar efectivamente es en alguna medida la base de todas las otras estrategias del proyecto. El equipo facilitador documenta la forma en que se trabaja, cómo se hacen los talleres, y han publicado lecciones aprendidas en formato blog. Los aspectos de colaboración también se materializan en el diseño. Pérez comenta cómo la inclusión del radio control, responde también a criterios de poder compartir: *«tu puedes tener la misma radio configurada para distintos drones al mismo tiempo [...] si tú no tenías plata para comprar una radio puedes compartirla con otra gente que la use con otros drones».*

El tiempo sostenido de facilitación de los talleres, las estrategias para lograr que más gente se sumara tanto online como offline, la interacción con contextos diferentes, constituyen aprendizajes que Pereyra Irujo aplica actualmente en nuevos proyectos: *«en uno de nuestros proyectos nuevos contribuyo directamente en temas de diversidad e inclusión [...] la teoría la saque de GOSH pero el aprendizaje real en la práctica lo saque de la experiencia con Vuela».*

7.4.10 Usos y no usos

La comunidad de Melipilla había definido una problemática a trabajar utilizando drones, y estaba fabricándolos; ¿cuáles son las razones detrás de que una vez terminados los talleres no los siguieron fabricando o volando? Una de las pistas puede venir por el lado de las mismas restricciones que Vuela cuestiona. Bernaldo arriesga que lo mismo que le pasó a ella le pasó al resto de la tripulación: incluso si quisiera o tuviera una motivación para volar uno de los drones, no puede porque en la ciudad existen restricciones de vuelo. La falta de práctica hace que las habilidades técnicas se vean un poco resentidas, y por ejemplo el manejo del software *«se me ha olvidado porque no lo practico»*, menciona Bernaldo.

La barrera del idioma, más allá de que pudo sortearse para la construcción del OVLI, impidió otras discusiones de mayor profundidad con los participantes. El equipo organizador piensa que una vinculación más profunda desde las



Figura 7.11: Vuela: talleres para investigadores (fuente: [Instagram](#))

problemáticas de la comunidad podría incentivar más el uso del dron o de otras tecnologías abiertas. El nivel de organización y motivación de la comunidad también es importante, más allá de los procesos de facilitación más o menos exitosos, como explica Bernaldo:

la cantera es importante para ellos, es un tema que está ahí pendiente, pero no es una cosa que nos están contaminando con un agroquímico y necesitan ponerle una demanda al Estado para poder pagarse la sala de operaciones y el tratamiento médico; no es una cosa así, que sea súper apremiante

Por otro lado, la versión de OVLI que permitiría técnicamente monitorear la cantera se obtuvo a partir de los talleres realizados con PROCISUR, donde Melipilla ya no participaba; como menciona Pereyra Irujo: *«este dron de ahora de PROCISUR creo que sí tiene la capacidad de hacer eso [monitorear la actividad de la cantera] estaría bueno, en algún momento hacerlo, llevar de vuelta a Melipilla el último modelo»*.

Quizás el punto más interesante sea cómo Vuela en la etapa en Melipilla logró habilitar un proceso local de discusión, y como el contacto con investigadores del

encuentro KCE permitió transformar esa necesidad en un problema de conocimiento. Esas visiones, materializadas en un artefacto, atraviesan actores muy diferentes, con el hilo común de la apertura. Para Pereyra Irujo es simbólico que en el caso de Vuela, la dinámica de la extensión universitaria se trastocó: *«un proyecto nacido en una comunidad ahora es utilizado en institutos de investigación científica alrededor del continente»*.

7.4.11 Síntesis del caso

Este capítulo presentó los resultados de analizar el primero de los casos comunitarios, que desarrolla sus actividades en Latinoamérica, a partir del análisis de entrevistas a dos de sus iniciadores y un colaborador clave, la observación participante y el análisis de documentación pública. El capítulo abre con un resumen general del caso, presentando las etapas del proyecto y las actividades realizadas.

Los resultados muestran que el modo de participación en el proyecto no es por división de tareas, sino que la coproducción lleva a borrar los límites entre desarrolladores, fabricantes y usuarias: todos hacen todo. Se muestran también las principales ideas que informan a Vuela, la influencia del manifiesto GOSH y las corrientes de descolonización del conocimiento; y cómo esto repercute en la importancia para Vuela de poder incluir a aquellos actores más vulnerables y marginalizados de los procesos de producción de ciencia y tecnología, ya sean inmigrantes, mujeres, o simplemente «no expertos». La elección de fabricar un dron se analiza desde el punto de vista de lo simbólico en la tecnología, y en cómo esto resultó estratégico para garantizar la participación en el proyecto a partir de lo lúdico y la creatividad.

La construcción del problema de conocimiento se analizó a través de las diferentes etapas de proyecto, con especial atención en los procesos comunitarios donde la construcción colaborativa de tecnología permitió disparar una discusión local que se cimentó a partir del contacto con investigadores de las ciencias sociales. El rol de los espacios en la participación a lo largo del proyecto mostró las diferencias entre institutos de investigación y espacios comunitarios no pensados para la producción de conocimiento. Los espacios influyen tanto por cuestiones prácticas de acceso como también simbólicas que impiden a los investigadores ir al barrio y a la comunidad ir a las instituciones. Llevar las actividades a espacios alejados de la producción formal de conocimiento derivó en una mayor diversidad y flexibilidad en la participación de no expertos.

La construcción del artefacto implicó una metodología incremental para la mejora, basada en la apertura y la colaboración. Las adaptaciones se hicieron en base a criterios de rigurosidad científica y de usabilidad, incluyendo no sólo el desarrollo de adaptaciones materiales sino también la construcción de metodologías y protocolos para bajar las barreras de acceso. Estas actividades requieren necesariamente de habilidades para la colaboración, y principalmente de estrategias de formación de pares que permitieron construir un idioma en común con los participantes en espacios muy diversos.

El análisis de capacidades permite observar que el proyecto habilitó la construcción de una herramienta abierta para la investigación científica que puede ser modificada, reparada y producida localmente; que esto demandó la construcción de capacidades técnicas en participantes tradicionalmente relegados de la ciencia y tecnología, y que la capacidad de colaboración entre participantes disímiles a través de un idioma común fue clave para este proceso. Por otra parte, como consecuencia de este recorrido los participantes en distintos espacios ganaron confianza en su relación con los artefactos, logrando repararlos sin problemas y perdiendo en parte el «miedo a la tecnología». Finalmente, el no uso actual del dron en la comunidad de Melipilla evidencia algunos elementos clave para la producción de conocimiento en ámbitos comunitarios, siendo la motivación inicial de los participantes uno de los más significativos.

Cuadro 7.3: Cuadro síntesis del caso Vuela

Contexto	Quiénes participan	Cómo participan	Capacidades
Problematización			
desconexión ciencia/comunidad grupos excluidos de la producción científica brecha tecnológica/capacidades	Investigadores (Cs. Sociales, Agricultura) Técnicos electrónicos Electricistas Múltiples vecinos	Co-desarrollo entre grupo organizador y participantes grupo organizador facilita y traduce la documentación	Esperadas Inclusión grupos marginados Autonomía diseño Usabilidad local Reparabilidad Problematicación realidad Capacidades técnicas Colaboración academia/comunidad
Visión			
democratización producción conocimiento empoderamiento tecnológico	Perfiles usuarios vecinos barrio Melipilla (técnicos, amas de casa, comerciantes) Investigadores PROCISUR	Habilidades técnicas requeridas programación electrónica básica corte láser georreferenciamiento manejo de drone procesamiento y análisis imágenes	Logradas Inclusión en fabricación Nuevas funcionalidades Mejoras de usabilidad Equipos reparables Problematicación comunitaria Autoformación
Innovación			
Drones accesibles, modificables, aptos investigación	Nuevos actores Comunidad de Melipilla Colaboradores online	Otras habilidades facilitación de talleres participación en foros virtuales burocracia importación	Logradas no esperadas Pérdida miedo tecnología Desarrollo apto investigación Nuevas ideas y proyectos
Etapas			
réplica adaptación iterativa desarrollo de fork	Género Mujeres organizadoras Participantes pero minoría	fuentes de habilidades formación de pares facilitada experiencia trabajo comunitario colaboración en temas específicos	Limitantes Discusión limitada en comunidad Desbalance género en desarrollo Proyecto comunitario interrumpido
Financiamiento inicial			
Materiales: becas innovación Trabajo: proyectos académicos, trabajo voluntario	Minorías en ciencia Migrantes, comunidades vulnerables Contexto de sur global	Metodología de trabajo	Barreras Idioma Falta de infraestructura propio Culturales: sexismo Culturales: academia/no academia Trabajo no remunerado
Modalidad			
Talleres itinerantes en espacios comunitarios	Estrategias de inclusión Documentación en multilingüe Documentación audiovisualE ventos en espacios comunitarios Facilitación Talleres con perspectiva de género	Usuarios Usuarios-desarrolladores tanto en etapa comunitaria como en academia	
Sostenibilidad			
Fondos académicos para desarrollo de talleres		Documentación Especificaciones técnicas Toma de decisiones Durante desarrollo Aprendizajes simbólicos Pérdida miedo a la tecnología Autoformación entre pares Apertura y colaboración Uso de licencias CC 4.0	

7.5 Proyecto KossamTor

Bloque: Proyectos comunitarios

7.5.1 Introducción al caso

Kossamtor es un proyecto surgido en 2017 en el Mboa Lab, un makerspace en Yaoundé, Camerún. Su objetivo es utilizar incubadoras de bajo costo, fabricadas en el makerspace, para que las mujeres de la comunidad rural aledaña puedan producir y comercializar yogur de forma segura. El nombre del proyecto está compuesto por una combinación de las palabras Kossam (un tipo de yogur muy popular en Camerún) y el sufijo -tor, por «incubator».

Mboa Lab surge como espacio promovido por Thomas Mboa, actualmente estudiante doctoral en Canadá y referente de ciencia abierta en la región. En una reunión en 2015 de la red de investigadores «ciencia abierta y colaborativa para el desarrollo» (OCSDnet), Mboa entra en contacto con el mundo de la ciencia «do it yourself». A partir de ello, cuando vuelve a Camerún decide fundar el Mboa Lab como espacio que promueve el desarrollo de herramientas abiertas para la ciencia, en particular orientado a la biología sintética.

A inicios de 2017 Mboa participó del segundo encuentro global de la red GOSH en Chile, donde conoció a Jorge Appiah, con quien fundaría AfricaOSH en 2018. En esa reunión conoció también a Jenny Molloy, fundadora de GOSH e investigadora de la Universidad de Cambridge, quien luego sería socia del Mboa Lab a través del proyecto transnacional Open Bioeconomy Lab. También en GOSH conoció a André Chagas, investigador en neurociencias, quien a fines de 2017 lideró un programa online de mentoreo de proyectos de hardware para ciencia, auspiciado por la Fundación Mozilla, llamado «BFOSH».

En 2017 BFOSH abrió una convocatoria a proyectos de hardware abierto para ciencia que quisieran participar de un programa de mentoreo con especialistas de distintas áreas. La idea principal del programa era que los desarrollos se realicen teniendo en cuenta la disponibilidad de materiales locales, y se documenten de forma tal que luego otras personas pudieran reutilizar lo aprendido.

Mboa y su equipo presentaron el proyecto de realizar una incubadora sencilla, con materiales disponibles en Yaoundé. El proyecto resultó seleccionado, y BFOSH otorgó 750 dólares para la compra de materiales. Durante las semanas de mentoreo el equipo se reunió con diferentes especialistas, entre ellos quien suscribe, que guiaron

el proceso de fabricación colaborativa y documentación.

Una vez terminado el programa BFOSH, parte del equipo en el MboaLab sugirió utilizar la incubadora para un proyecto que incluyera a la comunidad de mujeres que viven en la zona aledaña al makerspace. Esto implicó que se realizaran modificaciones en el artefacto que permitieron controlar pH además de temperatura, y se desarrollen talleres para capacitar a las mujeres en el uso y fabricación del artefacto.

Actualmente MboaLab es uno de los espacios más relevantes en términos de innovación social y ciencia abierta en Camerún. Es socio del proyecto Open Bioeconomy Lab, que produce equipos y enzimas abiertas para investigación en biología sintética, forma parte de la red Global Innovation Gathering que reúne diversas comunidades de innovación de base, sus miembros asisten al MIT Bio Summit y está en contacto con institutos de investigación tanto en ciencia abierta como en proyectos de desarrollo a nivel global.



Figura 7.12: KossamTor: incubadora en funcionamiento

7.5.2 Hardware abierto y desarrollo

La idea original detrás del proyecto de fabricar incubadoras estaba anclada en la enorme distancia que existe entre la teoría y la práctica en las universidades en Camerún. Mboa estudió biología en la universidad de Yaoundé, donde las prácticas de laboratorio eran casi inexistentes. Esto hace que los egresados casi no cuenten con experiencia de cómo es el trabajo real, en el día a día. Mboa comenta su propia experiencia: *“la idea al principio era construir una incubadora de bajo costo que se utilizara en un laboratorio de biología en Camerún para llenar ese vacío entre la teoría y la práctica [...] muchos laboratorios de nuestras universidades locales, como la Universidad de Yaoundé I, no tienen este equipo”*.

Más allá del impacto en la academia, la idea de la democratización de los equipos necesarios para hacer ciencia está muy presente en el discurso de Mboa, quien es un miembro activo de la comunidad de ciencia abierta en general y GOSH en particular. Su trabajo doctoral trata el tema de la mirada colonialista de la ciencia y en particular la ciencia abierta en África, con una mirada desde la justicia cognitiva. En una entrevista en 2018 Mboa explica qué significa esto en la práctica: *“cuando se discute qué hacer con la gente no importa si vienes de África, si eres académico o no, si eres técnico; lo más importante son las ideas”*.

En este marco, el uso de herramientas científicas abiertas se concibe como autonomía y autodeterminación de las comunidades para poder resolver sus propios problemas utilizando tecnología, siempre desde una perspectiva situada. Mboa explica qué significa esto para él en el contexto africano:

El problema es que en el extranjero, África parece ser sólo la parte inglesa de África [...] estamos pasando por alto una parte muy grande de lo que África puede darnos: tienes el África árabe, tienes el África francófona, nuestro conocimiento es igual [...] tenemos que apropiarnos, contextualizar y ver lo que es bueno para nosotros o lo que no es bueno para nosotros, y cómo podemos adaptarlo.

El MboaLab se encuentra ubicado en el predio contiguo a una escuela, en el barrio de Mbakomo. En las zonas aledañas al espacio vive una comunidad pequeña de mujeres, algunas nativas del lugar y otras llegadas de las zonas del noroeste y suroeste del país en calidad de refugiadas (denominadas IDP, por las siglas en inglés de «internally displaced people») tras las crisis en la región. En una entrevista en 2020 Nadine Mowoh, microbióloga del MboaLab, describe algunos de los problemas que viven estas mujeres:

los desplazados internos (IDPs) luchan por adaptarse, buscando un medio de vida se dedican a diversas actividades pero apenas ganan dinero suficiente para sostenerse [...] hablan un idioma diferente (inglés) de los nativos de Mbakomo (francés), por lo general es difícil para ellos integrarse.

El grupo de mujeres habita en el contexto mayor de una población en los suburbios de la capital, donde los problemas de seguridad alimentaria son frecuentes especialmente en la población más vulnerable, como detalla Lenshina Agbor en una entrevista en 2020, una de las microbiólogas que participó en las primeras etapas del proyecto: *«la comunidad se caracteriza por una población distribuida de forma desigual, con la mayoría compuesta por niños y ancianos [...] viven vidas muy sencillas».*

A partir de la participación de Agbor y luego de Mowoh y Nelly Mengue, también microbióloga del espacio, en el proyecto BFOSH, el eje de problematización del proyecto se movió desde fabricar incubadoras para proveer instancias prácticas de aprendizaje en las universidades, hacia KossamTor: fabricar incubadoras para contribuir a la seguridad alimentaria de la comunidad. Agbor comenta por qué eligieron el *kossam* como objeto de trabajo:

El kossam es muy caro en Camerún [...] el proyecto ha reducido el costo de la compra de yogur [...] Ya no tienen que asignar el consumo de yogur a los niños, ahora pueden gastar sólo una fracción de su dinero en recursos para producir más yogur para todos

Las tres microbiólogas señalan que como práctica en la vida cotidiana ellas producen *kossam* para consumo propio, y que a partir de esa experiencia cuando vieron que en el MboaLab estaban fabricando una incubadora automáticamente pensaron en la posibilidad de utilizarla para fabricar *kossam*. Mowoh además señala que la incubadora presenta ventajas frente al método tradicional: *«produce el yogur más rápido que los métodos locales, de 10 a 12 horas en comparación con 14 horas, y la calidad del producto estará garantizada».*

En el contexto de una cultura predominantemente patriarcal, las mujeres de en situaciones vulnerables suelen no contar con los mínimos ingresos necesarios para garantizar la alimentación de su familia. Por otro lado, aunque mucha gente fabrica, comercializa y consume su propio *kossam*, lo hace de manera irregular, sin controles que verifiquen que es un producto seguro. Mboa explica que KossamTor es una alternativa de seguridad alimentaria para que estas mujeres puedan producir

alimentos de calidad comprobada y generar ingresos a partir de la comercialización del producto: “*el principal problema que queremos abordar con KossamTor es permitir a la gente obtener un pequeño ingreso [...] mediante la venta de yogur que saben que es un yogur seguro*”.

7.5.3 Diálogos interdisciplinarios

La participación de MboaLab como socio en la red del Open Bioeconomy Lab le permite contar con dos biólogos empleados permanentes en el makerspace. A través de la colaboración con universidades el espacio aloja además a pasantes de la universidad pública, que colaboran con los proyectos en curso.

Los voluntarios no son remunerados, pero a veces, cuando tenemos algunos proyectos, también podemos darles algo de dinero [...] Nuestro lema en el laboratorio es «el valor social primero, la habilidad después» porque cuando tienes valor social puedes aprender fácilmente habilidades, puedes aprender fácilmente de los demás

La composición del equipo se fue modificando a través de las diferentes etapas del proyecto. Durante la participación en BFOSH, el grupo estuvo compuesto por Thomas Mboa, fundador del espacio, Marius Tchakounang, ingeniero especialista en sistemas embebidos e internet de las cosas, Agbor, MSc en biología molecular, e Yves Obame, colaborador técnico en MboaLab. Poco tiempo después Agbor partió a Inglaterra a realizar su doctorado, y se sumaron Mowoh y Mengue, con la idea de desarrollar el proyecto KossamTor. Mengue comenta que el trabajo interdisciplinario no es fácil pero tiene ventajas: «*trabajar en Mboalab es difícil pero gratificante porque nos permite aprender de los demás, convivir y compartir nuestras diferentes experiencias.*».

Agbor comenta que una de sus tareas era el contacto con la comunidad: «*hicimos una evaluación de los hábitos de los locales y una de las cosas que se destacaron fue su preferencia por los productos lácteos, especialmente el yogur*». Mowoh se sumó al proyecto en rol de control de calidad; su formación como microbióloga le permitió comprender los procesos que suceden en la incubadora, y evaluar si el producto era seguro para consumo. Pero también funciona como uno de los puntos de contacto con la comunidad y de difusión del proyecto, organizando los talleres de uso y fabricación de la incubadora:

Mis tareas específicas consistieron en la divulgación con las mujeres locales de la comunidad [...] organizar talleres con ellas sobre la

producción de yogur usando el Kossamtor y [asistir] a una conferencia internacional para demostrar cómo el Kossamtor puede ser usado para producir yogur localmente.

En todo el desarrollo del proyecto fue clave contar con un equipo diverso. Por un lado, los ingenieros se enfocaron en el desarrollo de la incubadora y luego su adaptación. Las micro biólogas por su parte realizaron las pruebas de producción de kossam, que finalmente resultó más rápida que la tradicional. Sin embargo, Mboa les pedía a todos los participantes que estuvieran al tanto de todas las tareas del proyecto a medida que avanzaba:

tanto si eres ingeniero como microbiólogo, tienes que asistir al taller porque si tienes que explicar a alguien fuera del laboratorio cómo funciona Kossamtor, tienes que ser capaz de explicar desde el principio hasta el final. Me refiero a la historia de Kossamtor, su construcción y la producción del yogur.

A diferencia de otros proyectos de hardware abierto, la proporción de mujeres en Kossamtor es casi del 50%. Sin embargo, al analizar cómo se distribuye el equipo a lo largo de las distintas etapas del proyecto, se puede observar un patrón de división de tareas y género. Tanto Mowoh como Mengue participaron sólo de las tareas finales de testeado de la incubadora para realizar kossam, y del desarrollo de talleres con la comunidad. Agbor participó brevemente de la etapa de fabricación antes de emigrar; ni Mowoh ni Mengue participaron de la elección del diseño, ni de su fabricación, que fue una etapa principalmente liderada por los ingenieros y técnicos del proyecto. Mboa señala que puede ver un patrón más allá de las preferencias individuales: “*las partes técnicas de este proyecto están masculinizadas*”.

7.5.4 Adaptando un diseño probado

MboaLab comienza a trabajar en mayo de 2017 en la fabricación de la incubadora dentro del programa BFOSH. En el programa los participantes podían desarrollar nuevos diseños o adaptar alguno existente, sin embargo en el espíritu de «no reinventar la rueda» se promovía que los participantes hicieran una revisión exhaustiva de los diseños disponibles para el uso de interés*.

En un principio, con el objetivo de proveer de instrumental a las universidades locales, el equipo quería construir una incubadora-agitadora 2 en 1 para laboratorios

*<https://fosh-following-demand.github.io/en/home>



Figura 7.13: KossamTor: un día de trabajo en el MboaLab

de biología. Después de discutir esta idea con los mentores del programa, terminó siendo descartada dada su complejidad para un equipo que trabajaba por primera vez en desarrollo de hardware. El objetivo de fabricar solo la incubadora resultó más abordable: las incubadoras «do it yourself» son muy populares en el hardware científico abierto, existiendo un volumen significativo de desarrollos documentados dentro de la comunidad, en particular de biohacking. En los laboratorios caseros siempre hace falta una incubadora, que suele ser de los primeros artefactos que los aficionados intentan fabricar.

Uno de los requerimientos del programa BFOSH era hacer una revisión de diseños disponibles. Tras esta revisión el equipo se decidió por un diseño sencillo, bien documentado y probado publicado por la BioHack Academy*, una iniciativa de la fundación holandesa Waag Society, combinándolo con elementos de una incubadora publicada por el desafío Biomakers, una iniciativa de la Universidad de Cambridge, como comenta Mboa: *“no hemos hecho el diseño desde cero [...] Es un fork de la primera versión de la incubadora DIY que construimos.”*

Una vez elegido el diseño, el equipo realizó una pequeña investigación sobre qué materiales eran los mejores para utilizar como caja de la incubadora, que sintetizaron en pros y contras. Entre las opciones evaluaron cajas de cartón corrugado, acrílico, madera, y finalmente la opción que resultó elegida, una conservadora como las que se utilizan para hacer un picnic o se llevan a la playa. Este tipo de decisiones se documentaron en el repositorio de GitHub del proyecto†. Mowoh comenta por qué es importante para el equipo elegir bien los materiales de la incubadora:

una herramienta que pudiera ser fácilmente utilizada por la población local considerando que los materiales para construirla son baratos, y pudiera ser fácilmente obtenida en las tiendas locales, o incluso hacer uso de algunos viejos contenedores abandonados, por ejemplo, conservadoras, baldes, etc., lo que hace que tenga un corto plazo de construcción y entrega.

El dinero otorgado por BFOSH fue utilizado para comprar la lista de materiales incluyendo la electrónica, que comenzaron a ensamblarse durante la semana cuatro del programa. Agbor comenta que la parte más difícil del desarrollo no fue el hardware o la electrónica, sino el software: *«fue un desafío hacer que el código funcionaran y que la unidad de control mostrara exactamente lo que estaba pasando [...] más tarde, descubrimos que había un error que se arregló mediante la revisión*

*[BioHack Academy](#)

†<https://github.com/FOSH-following-demand/Incubator>

7.5. PROYECTO KOSSAMTOR

del código». La falta de expertise en programación hizo que el equipo colabore con el FabLab Ongola, también en Yaoundé, para ajustar el código de la tarjeta Arduino que permite controlar la incubadora.

Este primer diseño permitía a la usuaria definir una temperatura entre 20 y 80 grados centígrados y mantenerla constante, utilizando una placa Arduino UNO o similar, a un costo aproximado de 80 euros. Tres meses después del inicio del programa, el equipo presentó sus avances en la videollamada pública; poco después conseguirían su primer cliente en la Universidad Católica de Yaoundé. Agbor comenta sobre esto: «*[las universidades] tienen sus propias versiones de la incubadora ahí en sus laboratorios y haciendo los mismos trabajos que las marcas comerciales caras ahí afuera*».



Figura 7.14: KossamTor: parte del equipo desarrollador, en el MboaLab

7.5.5 Re-orientando el uso

Fue a partir de este diseño que Agbor pensó la idea de utilizar la incubadora para producir *kossam*, que luego desarrollaron en colaboración Mowoh y Mengue con el resto del equipo. En primer lugar realizaron una pequeña encuesta para ver qué productos eran más consumidos por la comunidad. Al ver que el *kossam* era muy popular, durante esta etapa el trabajo fue principalmente de adaptación de la

incubadora que habían construido para que pudiera servir para la fabricación del yogur. Mowoh cuenta qué modificaciones fueron necesarias en el artefacto:

la posibilidad de utilizar el kossamtor para producir yogur con un pH particular que se adapte a las necesidades de una serie de personas (niños, adultos, personas con problemas digestivos, etc.) [...] esto sólo podría lograrse mediante la incorporación de un medidor de pH que determine el pH del yogur en cada momento del proceso de fermentación.

Esta nueva necesidad hizo que el equipo investigue cómo agregar un controlador de pH al diseño, a fin de producir las dos variantes en producción actualmente: para adultos, con un pH de 3.5 y para niños, más suave, con un pH 4.2. Mboa comenta que además esto trae otros beneficios: “*al permitirles controlar el pH de una manera muy simple pueden prevenir muchas de las enfermedades relacionadas con los alimentos y los productos lácteos*”.

Durante este proceso las investigadoras estaban en contacto con la comunidad de mujeres, a quienes llegaron a través del jefe local. Fue a esta persona a quien transmitieron los detalles del proyecto, los beneficios potenciales para la comunidad, y quien les garantizó acceso a las participantes, como relata Mowoh: «*hicimos una visita al jefe de la comunidad y le explicamos el proyecto [...] el jefe lo anunció a la comunidad local a través de reuniones locales (njangi) [y también] envió anuncios en las iglesias*».

Las principales usuarias de la incubadora son las mujeres de la comunidad, que no la compran directamente sino que obtienen una cuando consiguen algunos de los materiales iniciales, que acercan al equipo técnico del MboaLab, donde las ayudan en la construcción. Para que las mujeres puedan utilizar la incubadora correctamente, Mowoh y Mengue realizan talleres en el Mboa Lab donde se demuestra tanto la fabricación del artefacto como los principios de la fabricación de los distintos tipos de *kossam*. Los talleres además brindan la posibilidad a las mujeres de compartir sus propias experiencias en la fabricación de yogur, y de observar de primera mano el proceso, como relata Mowoh:

Se inicia una demostración del proceso de producción adquiriendo los ingredientes en las tiendas locales, se toman otros materiales de los hogares y el proceso de producción comienza con una persona que realiza cada paso del proceso junto a la otra, mano a mano

Aunque las mujeres utilizan frecuentemente la incubadora, existen algunos problemas relacionados al uso que no pudieron ser detectados en principio por el

equipo del Mboa Lab, como por ejemplo los frecuentes cortes de electricidad en la comunidad, o el tamaño de la caja de la incubadora y el volumen de producción pequeño. Estos elementos que ya se están trabajando en un nuevo diseño, tienen implicancias para las usuarias que Mowoh detalla de la siguiente manera:

los frecuentes cortes de energía en esta comunidad [...] el hecho de que solo algunas personas lo poseen entonces no se usa simultáneamente [...] la incapacidad del Kossamtor para permitir la producción de yogur a gran escala debido al tamaño de la conservadora [...] esto dificulta su uso

Otros desafíos que surgieron en el proyecto tienen que ver con el grado de alfabetización de las usuarias, que dificulta la transmisión de algunos conceptos, o que algunas no hablan el idioma, prosigue Mowoh:

[las mujeres] apenas podían entender la ciencia que había detrás de la producción de yogur o tener conocimientos electromecánicos para construir independientemente sus propias incubadoras [...] algunas tenían comprensión de un idioma y otras de otro [...] hubo que dedicar mucho tiempo a aclarar algunos puntos y hacer que se entendieran entre sí mientras trabajaban en grupo.

Una de las claves para garantizar que el proyecto fuera adoptado fue la de realizar videos donde se explican los conceptos básicos, o como comenta Mboa: “*El concepto de pH era difícil para las personas que no han ido a la escuela, así que usamos ejemplos simples para explicar*”.

Construir la incubadora, por otro lado, demanda algunas nociones básicas de electrónica para entender cómo están conectados los módulos y poder repararla llegado el caso. Además demanda de algunas habilidades básicas de programación, para poder configurar la placa Arduino que controla el artefacto y poder solucionar problemas que pueden aparecer. Mboa señala que tratan de facilitar toda la actividad desde el espacio:

Lo que estamos haciendo es mayormente un proyecto comunitario, si pones algunos requisitos, no ayudas a mucha gente [...] tienes que aceptar a todo el que quiera un lugar en el proyecto para que pueda aprender y obtener capacidades con el tiempo.

En este sentido, Mboa resalta lo importante que resulta para él no contar con una afiliación a una universidad o una fundación que fuerce sus propias reglas en

En este sentido, la capacidad de producir una incubadora de forma local, con insumos accesibles y disponibles en Yaoundé se vio lograda. A partir del proyecto el makerspace identificó dos proveedores locales (DBL electronique y Megatec Electronic) de donde obtener la mayoría de los insumos necesarios. El contar con estos recursos locales hace que el MboaLab pueda también ofrecer el servicio de reparación de las incubadoras.

La colaboración con otros espacios permitió suplir las habilidades con las que no contaba el espacio, como la de programar o modificar el programa de la placa Arduino. A partir del proyecto se acercaron representantes de la Universidad Católica de Yaoundé y de la Universidad Pública, a quienes el espacio ya vendió tres incubadoras. El Hive Biolab, espacio comunitario en Ghana, ya replicó el diseño de la incubadora de forma exitosa.

El grupo pudo también adaptar un diseño externo a las necesidades propias. A partir de haber construido la incubadora, que funciona correctamente en cuanto a temperatura, tomó un tiempo adicional pero el equipo pudo adaptarla para poder también medir pH. Este diseño es propio de KossamTor, y el grupo piensa documentarlo y ponerlo a disponibilidad pronto para otras comunidades.

La capacidad de compartir el diseño original de kossamtor con el resto de la comunidad global en línea es limitado. La plataforma utilizada por el programa BFOSH, GitHub, es poco amigable para quienes no poseen una formación o experiencia en software, que son la mayoría en el makerspace. Por otro lado, la documentación en general se realiza en inglés, que no es el idioma dominado por la mayoría de los participantes (que hablan francés y otros idiomas locales). Un breve análisis de la historia del repositorio donde se encuentra la documentación de la incubadora muestra cómo los principales colaboradores son Mboa y Molloy, que probablemente mejoró la documentación en una de sus visitas al espacio. Los *issues* utilizados para discutir decisiones o problemas en el diseño no cuentan con actividad.

Una de las capacidades más mencionadas es la de poder sostener la iniciativa en el tiempo. KossamTor no significa solo una oportunidad para que las mujeres puedan obtener ingresos; a partir del proyecto el MboaLab también las produce para la venta a universidades e institutos de investigación.

7.5.7 Síntesis del caso

Este capítulo presentó los resultados de analizar el segundo de los casos comunitarios, que desarrolla sus actividades en África, a partir del análisis de entrevistas al organizador y a cuatro de sus colaboradoras, la observación participante a partir de ser mentora del proyecto en el programa BFOSH y el análisis de documentación pública. El capítulo abre con un resumen general del caso, presentando las etapas del proyecto y las actividades realizadas.

Los resultados muestran que el modo de participación en el proyecto es la división de tareas, y que existe un patrón de género que masculiniza las tareas técnicas y orienta a las mujeres a las tareas de contacto con la comunidad y adaptación al uso. Se muestran además las ideas de justicia cognitivas que informan al proyecto, y las estrategias puestas en marcha para intencionalmente borrar los límites entre expertise en el grupo desarrollador.

La fabricación del artefacto se realiza a partir de la adaptación de diseños altamente probados, a través de la selección de materiales adecuados al uso específico del artefacto y la sencillez de implementación de acuerdo a las capacidades técnicas disponibles localmente. Los resultados muestran también como a partir de una reorientación del problema a trabajar, desde incubadoras para laboratorio hacia incubadoras para fabricar *kossam*, los trabajos de los colaboradores se reconfiguraron para la nueva tarea.

El nuevo uso implicó para el espacio entrar en contacto con la comunidad de mujeres a través de distintas estructuras sociales de la zona, y desarrollar talleres para poder contar de qué manera utilizar y ensamblar los artefactos. Esto derivó en un esfuerzo de comunicación y «traducción» por parte del equipo desarrollador para sobrepasar barreras de idioma y grados de alfabetización.

El análisis de capacidades permite observar que el proyecto permitió la construcción de una herramienta abierta reparable, adaptable y fabricada con materiales locales capaz de dar respuesta a una necesidad urgente. Pero que además habilitó una reconfiguración de los roles dentro del makerspace a fin de lograr los objetivos esperados, recurriendo a la colaboración con otros espacios para sobrepasar faltas de expertise. Finalmente, la iniciativa logra sostenerse en el tiempo gracias a la comercialización de los artefactos, que financian la actividad comunitaria del espacio.

Cuadro 7.4: Cuadro síntesis del caso KossamTor

Contexto	Quiénes participan	Cómo participan	Capacidades
Problemática			
Falta de equipos en universidades equipos no reparables brecha teoría y práctica grupos vulnerables	Biólogos Mfero biólogos Ingenieros en general	Desarrollo y producción a cargo de grupo organizador; organizadores facilitan adopción en talleres	Impacto local Autonomía diseño Usabilidad local Reparabilidad Sostenibilidad
Visión			
innovación local impacto en comunidad generación de ingresos seguridad alimentaria	Mujeres comunidad rural Estudiantes en Univ. Yaoundé	programación electrónica básica corte laser microbiología software especializado	Impacto en comunidad rural Nuevas funcionalidades Mejoras usabilidad Equipos reparables Comercialización
Innovación			
Incubadoras accesibles con control de temperatura y pH	Mbaalab Makerspace	facilitación de talleres participación en foros virtuales	Logradas no esperadas Colaboración con otros espacios
Etapas			
réplica adaptación iterativa desarrollo de fork	Mujeres desarrolladoras de proyecto no de tecnología	fuerza de habilidades equipo interdisciplinario experiencia trabajo comunitario colaboración con makerspaces	Limitantes Baja adopción Necesidad facilitación Comercialización kossam limitada
Financiamiento inicial			
Materiales: Beca innovación Trabajo: proyectos internacionales, voluntarios, pasantes	Contexto de sur global Mujeres rurales como usuarias	Metodología de trabajo Basada en usuario Diseño modular Iteraciones rápidas	Documentación Idioma de la comunidad Falta de infraestructura Tamaño incubador
Modalidad			
Proyecto estable en espacio propio	Documentación audiovisual Foros de discusión Interfaces gráficas, UX	Usuarios Talleres de fabricación y uso con mujeres de comunidad Mbokepé	
Sostenibilidad			
Venta de equipos a universidades Venta de equipos a particulares		Documentación Especificaciones técnicas Toma de decisiones Post-desarrollo Aprendizajes simbólicos Desarrollo de lenguaje común Apertura y colaboración Uso de licencias GPL v3.0	

7.6 Resumen del capítulo

Este capítulo introdujo los resultados de cuatro estudios de caso sobre proyectos de hardware científico abierto en contextos académicos y comunitarios de la periferia. Las dimensiones analizadas incluyen el contexto general de inserción, la diversidad y modos de la participación, los procesos de domesticación tecnológica y el desarrollo de capacidades.

Los resultados de los estudios de caso comprenden:

- identificación de motivaciones, visiones y estrategias;
- identificación de grupos incluidos, excluidos y la distinción de modos de participación y sus implicancias;
- descripción de patrones de trabajo que permiten a los proyectos desarrollar dispositivos apropiados a cada contexto;
- identificación de capacidades esperadas, alcanzadas y no alcanzadas en cada caso;
- Identificación de barreras que impiden alcanzar las capacidades esperadas y cómo estas afectan a los participantes de forma diferencial.

En el próximo capítulo se presenta el análisis comparativo de estas experiencias dentro del contexto comunitario y académico respectivamente, para luego plantear el análisis comparativo global de todos los proyectos presentados.

Capítulo 8

Análisis comparativo

8.1 Introducción al capítulo

En esta sección, tras haber presentado los cuatro casos de estudio de forma individual, se presenta un análisis comparativo de los resultados. En primer lugar se hace una comparación de casos dentro de cada uno de los bloques académico y comunitario. Finalmente se presenta el análisis comparativo que permite comparar resultados entre todos los proyectos.

8.2 Bloque académico

8.2.1 Contexto de las actividades

Tanto en Gorgas Tracker como el Open Flexure, la problematización presenta similitudes: escasez de recursos, barreras burocráticas, demoras, costos de importación y la imposibilidad de adaptar o reparar las herramientas científicas a costos razonables. Ambas iniciativas son esencialmente una respuesta propositiva, la búsqueda de autonomía frente a una situación adversa. Quizás como respuesta a esa situación inicial de adversidad e imposibilidad de producir conocimiento, los proyectos se piensan como pruebas de concepto diseñadas para tener un alto impacto social.

Los objetivos de largo plazo son amplios y conectan a la producción de conocimiento con problemáticas locales de desarrollo. Más allá de publicar mejores o más papers, se piensa en solucionar problemas acuciantes en el contexto donde

se inserta el proyecto. El equipo de Gorgas parte del objetivo de que su estudio y herramientas sean útiles para quienes ejecutan planes de control, que sean fáciles de usar para los agentes de salud, que formen parte de un plan mayor de cambio en las políticas de control de la malaria. En Open Flexure sucede algo similar, desde el makerspace fabricante y el instituto de investigación que usa los microscopios, lo que se pretende es mejorar un proceso de diagnóstico actualmente limitado por los recursos humanos y de infraestructura disponibles, con consecuencias para la salud de las comunidades.

Las etapas de trabajo en ambos casos incluyen tres momentos bien diferenciados: el prototipado inicial a partir de los requerimientos del equipo investigador original, las pruebas con quienes serán las usuarias finales en ciclos iterativos y el desarrollo de pruebas piloto controladas. En ambos casos existen instancias específicas de contacto entre usuarias y desarrolladores de los artefactos, aunque en el caso de Open Flexure, una iniciativa con tres años de recorrido, el equipo desarrollador y el equipo fabricante son dos instancias diferentes en dos contextos geográficos distintos.

Las estrategias de financiamiento de ambos proyectos son distintas, pero coinciden en la dificultad de presentar sus ideas en circuitos tradicionales de financiamiento académico. Gorgas fue financiado con un fondo semilla destinado principalmente a estudiantes, con bajas expectativas. Open Flexure cuenta con un financiamiento mucho mayor pero proveniente fuera de la universidad, de una especie de fondo de «extensión» para colaboraciones del Reino Unido con países en desarrollo.

8.2.2 Modos de la participación y diversidad

En ambos casos el rasgo más relevante es la incorporación de nuevos actores en el proceso de producción de conocimiento, a cargo de la producción de los dispositivos. En el caso de Open Flexure, el trabajo directo con el makerspace y en el caso de Gorgas, los ingenieros y técnicos internos de la universidad pero parte de otro laboratorio.

Ambos equipos están constituidos por investigadores muy jóvenes, en sus primeros años de carrera académica. La participación les permite en ambos casos ganar visibilidad en sus propios espacios de trabajo. El investigador principal que desarrolló Open Flexure, a partir del proyecto se independizó de Cambridge fundando su propio laboratorio en la Universidad de Bath. Para los investigadores que co-dirigieron Gorgas, el proyecto culminó en la posibilidad de contar con un espacio propio en la universidad, el Laboratorio de Innovación en Salud.

En ambos casos la modalidad de la participación implica una división de tareas con instancias de interdisciplinariedad. La naturaleza del trabajo a realizar implica que los equipos estén conformados por una multiplicidad de especialistas en diferentes disciplinas. Open Flexure cuenta con físicos, programadores, ingenieros, biólogos y técnicos de laboratorio. En el caso de Gorgas, el equipo estuvo constituido por un epidemiólogo, un ingeniero electrónico, un ingeniero ambiental, especialistas en biodiseño. Las usuarias también se insertan en esta configuración desde su rol, y aunque las instancias de interacción son mucho más numerosas que en un proceso convencional, no existe fluidez entre estos roles. Sin embargo, las usuarias tienen una gran influencia en el diseño de los artefactos a partir de las instancias de prueba y sugerencias a los desarrolladores. El poder de las usuarias es evidente a partir de que los desarrolladores y fabricantes pretenden producir artefactos que sean adoptados y por ende útiles.

Ninguno de los casos incorporó estrategias dedicadas a la inclusión de mujeres o género no binario en los proyectos, más allá de adherir nominalmente a las estrategias del movimiento global en ese sentido. Las mujeres ocupan roles de usuarias ya sea intermedias, como promotoras de salud en Gorgas, o finales, como vecinas de la comunidad indígena o las técnicas de laboratorio en Tanzania utilizando microscopios.

8.2.3 Trabajos de domesticación

Los proyectos presentan un gran nivel de desarrollo propio, adaptando pruebas de concepto para sus propios usos. En el caso de Gorgas ese proyecto inspirador es el rePhone, en el caso de Open Flexure en Tanzania, es el microscopio original desarrollado por el equipo en Bath. Existe una intención clara de no «reinventar la rueda»: ambos reutilizan los desarrollos previos para otros usos, para otros públicos, y los reconfiguran en la nueva realidad y necesidades del contexto local.

Los trabajos de fabricación se desarrollan, en ambos casos, bajo el precepto de máxima adaptación al contexto, basados en la metodología iterativa de trabajo, la modularidad en el diseño y la concepción siempre en base a la usuaria. En términos de adaptaciones, las listas de materiales son las que más reflejan los cambios, debiendo ser fácilmente conseguibles, teniendo que poder resistir las condiciones de temperatura y humedad elevadas. Las interfaces son otro de los grandes elementos de la adaptación, ya que las usuarias tienen que poder utilizar los dispositivos fácilmente.

En ambos proyectos, como criterio de diseño, el equipo que fabrica el dispositivo

tiene que ser capaz de repararlo. En el caso de Gorgas, el equipo que desarrolla y fabrica es el mismo. En Open Flexure, al haberse iniciado el proyecto en el equipo inglés este proceso implicó una instancia de capacitación del makerspace en Tanzania por parte de los ingleses, a fin de que se convirtiera en co-desarrollador. Este proceso de co-desarrollo a través de visitas extendidas entre ambos equipos implicó no sólo la adquisición de conocimientos técnicos sino también incorporar el punto de vista local al proyecto, evaluando qué es posible y qué no en contexto.

Ya sea hacia dentro del equipo de Gorgas o entre los dos equipos en Inglaterra y Tanzania, el trabajo interdisciplinario resultó imprescindible para alcanzar los objetivos técnicos. Los dos casos sin embargo lo atravesaron de forma diferente. En Gorgas, al poder habitar un mismo espacio en la universidad lograron desarrollar más rápidamente un lenguaje común y una empatía que facilitaron la colaboración. En Open Flexure, además de las diferentes disciplinas hubo un componente cultural que separaba a los dos equipos. En este caso las visitas largas permitieron que ambos tuvieran acceso al contexto de cada uno, generando el lenguaje en común para colaborar.

Finalmente, en ambos proyectos el rol de las usuarias es muy activo, moldeando con sus requerimientos las funcionalidades de los dispositivos. Tanto los técnicos de laboratorio en el Ifakara Health Institute (Tanzania) como los promotores en salud y vecinos de las comunidades (Perú) tuvieron la oportunidad de probar los dispositivos antes de la implementación. Dadas las características del caso peruano, las comunidades indígenas tenían un grado de libertad menor como usuarias, en su rol de sujetos de la investigación médica.

En ambos casos la construcción modular de los artefactos permitió que los resultados de las iteraciones puedan ser fácilmente incorporados por los equipos. En el caso de de Gorgas las modificaciones permitieron que el dispositivo «sobreviva» a la selva amazónica y sea utilizado por los vecinos durante todo el período del estudio. En el caso de Open Flexure, las sugerencias de usabilidad hicieron que muchos más técnicos pudieran utilizar el microscopio.

8.2.4 Construcción de capacidades

Las capacidades esperadas por ambos equipos desarrolladores giran en torno a la posibilidad de contar con equipos construidos y reparables localmente, el poder generar un impacto en términos de proveer soluciones a problemáticas locales, y poder formar recursos humanos locales en el proceso.

En términos de capacidades logradas ambos equipos desarrollaron microscopios y trackers altamente adaptados al contexto local y que han sido reparados tanto por el makerspace en Tanzania como por el equipo del Laboratorio de Innovación en Salud en Perú. Para lograrlo los equipos tuvieron que adquirir la capacidad de desarrollar artefactos altamente adaptables al contexto, poder conseguir insumos y materiales localmente y capacitarse en técnicas de fabricación digital, programación básica y cuestiones específicas como geolocalización u óptica.

La capacidad de generar impacto se logró en ambos casos por caminos diferentes. En el caso de Gorgas la conexión de uno de los mentores de la universidad con el Plan Malaria Cero permitió que los resultados del equipo y la propuesta de la herramienta llegue a la esfera del ministerio de salud peruano. A partir de esta visibilidad se fundó el laboratorio de innovación en salud, y se logró incorporar la movilidad humana como uno de los ejes en el Plan. En cuanto a Open Flexure, la participación de Cambridge y Bath otorga visibilidad al proyecto localmente, facilitando la alianza estratégica con el Ifakara Health Institute para desarrollar la prueba piloto. La reputación en investigación clínica del IHI y sus conexiones con la política local le permiten al proyecto ganar visibilidad que utiliza, por ejemplo, para avanzar con los trámites burocráticos necesarios para proveer de microscopios a las escuelas.

Aunque no se mencionó entre las capacidades esperadas, una de las capacidades logradas fundamentales es la de trabajar en equipos interdisciplinarios y con diferencias culturales marcadas, en pos de un objetivo común. En ambos casos los participantes mencionan que esta fue la tarea más compleja y que más tiempo tomó, pero la que permite que finalmente el objetivo haya podido ser alcanzado.

En términos de sostenibilidad de las iniciativas, en el caso de Open Flexure siempre fue un objetivo que el makerspace desarrolle un modelo de negocio a partir de la comercialización de los microscopios. Aunque algunos fueron vendidos ya a universidades locales, se espera que el modelo escale a partir de la autorización del gobierno para proveer a las escuelas. Por otro lado, a fin de proveer a los institutos de investigación en salud es necesario realizar una certificación técnica en la que el equipo se encuentra trabajando actualmente. En el caso del equipo peruano, la sostenibilidad en el tiempo del proyecto aumentó al crearse el Laboratorio de Investigación en Salud, que tiene la posibilidad de aplicar a fondos tanto de investigación como de innovación. Por otro lado el equipo avanza en discusiones con el Ministerio de Salud que pueden decantar en la compra de equipos, y en otras ramas del proyecto que se pueden monetizar, como iniciativas de ciencia ciudadana.

Finalmente una de las principales capacidades alcanzadas pero no contempladas

inicialmente es la de poder idear y realizar pruebas piloto de nuevos proyectos a partir del trabajo realizado. En Open Flexure, el trabajo con malaria derivó en un nuevo proyecto de automatización del diagnóstico, que incluye un componente de *machine learning* y otro sugerido por los técnicos para automatizar el preparado de las muestras. En Gorgas, estudiantes que colaboraron con el proyecto ya desarrollaron nuevos prototipos con funcionalidades diferentes que evalúan condiciones ambientales para estudiar, por ejemplo las condiciones de desarrollo de los mosquitos.

8.2.5 Barreras

Las barreras a la participación y el desarrollo de capacidades pueden categorizarse en dos grandes grupos: obstáculos de tipo técnico y de orden institucional. En cuanto a las barreras técnicas, los problemas se encontraron principalmente en el proyecto Open Flexure, dada la característica de codiseño del mismo. El trabajo conjunto entre quienes desarrollaron el concepto en Inglaterra y quienes implementaron la fabricación en Tanzania requirió del uso de herramientas virtuales diversas para documentar el trabajo. Por un lado software de diseño, programación del microscopio, manejo de las sucesivas versiones y mejoras. Para el makerspace esto fue una barrera importante: por un lado, la necesidad de aprender a usar herramientas que fueron diseñadas con interfaces poco amigables para personas sin formación o experiencia en programación. Por otro lado, cuestiones de infraestructura: el acceso a internet es limitado e irregular en Tanzania, la disponibilidad de computadoras también. Finalmente, factores personales, ya que la apertura de estas herramientas implican que si se comete un error, el registro queda disponible públicamente. Las diferencias entre los equipos hacen que hoy en día el makerspace pueda modificar muchos aspectos del microscopio, pero no el diseño base, que se realizó utilizando un software sin interfaz gráfica.

Otro de las barreras que enfrentaron ambos casos pero de forma diferente es el aseguramiento de la calidad de los dispositivos fabricados. En el caso de Gorgas, sabiendo de antemano que gran proporción de los componentes electrónicos podía fallar, el equipo compró materiales para realizar muchos más dispositivos que lo planificado. De esta forma se aseguraron contar siempre con un stock en funcionamiento. Además definieron una «cadena de producción» interna que les permitió fabricar todos los dispositivos de la forma más estandarizada posible, proveyendo a los agentes de salud de recambios si era necesario durante la prueba piloto. En cuanto a Open Flexure, el equipo en Inglaterra desarrolló pruebas específicas de calidad del microscopio que se realizaron en Tanzania, y recientemente el makerspace está implementando sus propias pruebas.

En términos de barreras institucionales, Gorgas fue quien tuvo que implementar más estrategias que permitieran «vender» el proyecto dentro de la universidad. Los esquemas de apoyo a nuevos proyectos son muy tradicionales, teniendo que formularse siempre en términos de investigación académica. Sumado a la juventud del equipo, sólo el apoyo de uno de los mentores de la universidad permitió que se consiguiera el fondo inicial para poner el proyecto en marcha. Open Flexure en cambio enfrenta barreras institucionales diferentes, relacionadas a la presión de la universidad para que el equipo implemente el patentado de la invención. La falta de conocimiento de las oficinas de transferencia tecnológica en términos de licencias abiertas hace también que en ambos casos, el trabajo de desarrollo no se vea traducido en incentivos de carrera para los investigadores. Aunque ambos proyectos usan licencias abiertas, en Open Flexure, quizás por su grado de madurez, la cuestión se percibe como mucho más relevante para los investigadores que en el caso peruano.

8.3 Bloque comunitario

8.3.1 Contextos de las actividades

Las motivaciones detrás de ambos casos comunitarios, Vuela y Kossamtor, son similares: hacer que un grupo de personas que no son usuarias de cierta tecnología pueda aprovecharla para su propio beneficio. A través de estrategias de «traducción» y facilitación, se espera que estas no usuarias se vuelvan usuarias y en el caso de Vuela desarrolladoras, utilizando el artefacto en cuestión para un fin que les sea relevante.

Ambos proyectos relacionan sus actividades a temáticas de desarrollo e inclusión, trabajando con grupos sociales vulnerables. Por un lado Vuela, con la comunidad de Melipilla y su necesidad de denunciar con datos la actividad de una cantera que la municipalidad prometió desactivar. Por el otro Kossamtor, con las mujeres rurales sin posibilidad de acceder a fuentes de ingresos y sufriendo problemas de seguridad alimentaria. El fin en sí mismo no es la producción de conocimiento científico o de tecnología, en ninguno de los casos. Por el contrario, el fin es solucionar un problema a través de un producto (KossamTor) o un proceso (Vuela) utilizando un diseño abierto.

En KossamTor la apertura fue útil para encontrar un diseño para adaptar, pero no tiene relevancia en el trabajo diario de otra forma. En el caso de Vuela, la apertura además brinda legitimidad al proyecto. El hecho de saber que nadie puede apropiarse

del trabajo realizado mitiga la desconfianza que una comunidad puede tener en el contexto de trabajo voluntario.

En ambos casos las actividades de los proyectos se iniciaron a partir de adaptar un diseño existente ya probado según criterios de costo, disponibilidad de documentación accesible para no expertos y disponibilidad de materiales locales para construir el artefacto. Estos factores priman incluso si el diseño no responde en términos de funcionalidad en un cien por ciento a las necesidades propias. Una vez seleccionado el diseño, ambos proyectos intentaron replicarlo localmente, y una vez lograda la réplica, comenzaron a adaptarlo para el uso de interés, generando un nuevo diseño.

En cuanto a estrategias de financiamiento, ambos proyectos oscilan entre la actividad comunitaria, no remunerada, y la actividad académica, que sí lo es, como una forma de generar recursos. Sin embargo el tema se trata de forma diferente en ambos casos. En KosamTor, la sustentabilidad a partir de la comercialización de las incubadoras fue la intención desde un principio, y permite sostener las actividades comunitarias. Para Vuela este fue un obstáculo mayor ya que no comercializan el producto, lo que hizo que el principal trabajo realizado desde la comunidad, la facilitación de los talleres, no tuviera continuidad.

8.3.2 Modos de la participación y diversidad

En ambos casos se puede observar un patrón de participación donde desde un principio se diferencia un círculo de organizadores/iniciadores del proyecto y colaboradores cercanos y un grupo más amplio de participantes en calidad de usuarias. En el caso del proyecto Vuela algunas de las usuarias del círculo más amplio terminaron convirtiéndose en colaboradoras del círculo organizador.

La característica principal del grupo de organizadores es que está constituido por personas que pueden ocupar un rol híbrido entre academia y comunidad, es decir que manejan ambos lenguajes. Estas personas cuentan con algún tipo de formación académica o contacto con la academia que les facilita el acceso a la información y a la comprensión tanto del problema a solucionar como de las posibles soluciones. Por otro lado, cuentan con acceso a la comunidad y están al tanto de las problemáticas, pudiendo realizar la función de traducción.

En cuanto al círculo más amplio de usuarias en la comunidad, se trata de un grupo heterogéneo en cuanto a formación. En ambos proyectos está constituido por personas en situación de vulnerabilidad económica, ya sea por su estatus de migrante

(Vuela) o por sistemas patriarcales de opresión y condiciones de pobreza estructural (Kossamtor). Se trata en ambos casos de personas no incluidas en la concepción original de «usuaria» de los drones o de las incubadoras. En Vuela además el grupo más amplio de usuarias se divide en dos momentos: uno en un contexto comunitario y otro en un contexto académico.

En ambos casos el rol de las mujeres es instrumental en la construcción de la utilidad social de los proyectos; en el caso de Vuela tomando un rol claro en la definición del problema de la cantera desde la comunidad de vecinos; en el caso de KossamTor desde la reorientación del uso de la incubadora para producir kossam con las mujeres de la comunidad. En el caso de KossamTor sin embargo se observa que la división de tareas en la fabricación sigue un patrón de género, siendo las tareas técnicas desarrolladas únicamente por hombres.

En ambos casos el rol de los espacios resultó fundamental en la determinación de quiénes llegaron a participar de la iniciativa. En el caso de Vuela se observa que espacios no institucionales brindan una diversidad mayor de expertise no formal al proyecto; en el caso de KossamTor estar en la zona donde vive la comunidad vulnerable le permite acceder a instancias de intercambio. En ambos casos, «salir» a la comunidad desde espacios con redes territoriales desarrolladas, no contemplados inicialmente como sitios de producción de ciencia y tecnología, favorece a la diversidad de la participación.

El uso del espacio online fue diferencial en ambos casos. La colaboración en este punto fue significativa para el proyecto Vuela, incorporando colaboraciones de expertos, en particular a medida que el diseño aumentaba en complejidad. En el caso de Kossamtor la colaboración online no fue significativa, aunque sí hubo colaboraciones con otros espacios en la misma ciudad que suplieron la falta de programadores en el MboaLab.

8.3.3 Trabajos de domesticación

En ambos casos el grupo organizador comenzó por seleccionar un diseño plausible de ser fabricado en el contexto, e intentó replicarlo. En el caso de Kossamtor, el proceso completo de prototipado y fabricación está circunscrito al grupo organizador. En el caso de Vuela estas etapas se realizan en conjunto con el resto de la comunidad.

Esta diferencia hace que el proceso de facilitación sea diferente en los dos casos. Por un lado Kossamtor facilita el proceso de que las mujeres rurales, que son usuarias excluidas de la incubadora, puedan comenzar a utilizarla para producir kossam. Para

ello realiza talleres que tienen el objetivo de facilitar la adopción de la herramienta, a través de videos, demostraciones en vivo y actividades abiertas a la comunidad.

Por el otro lado, la intención de Vuela es que la comunidad más amplia se convierta en algo más que una usuaria: que pueda además formar parte del grupo organizador que puede replicar y modificar la herramienta. En este caso la estrategia de facilitación conlleva más trabajo, ya que en primer lugar el equipo organizador aprende a fabricar el drone, elabora videos, documenta los procesos y luego realiza talleres con la comunidad donde todos construyen el drone. Además, el grupo organizador activamente desarrolla estrategias para que la comunidad acceda más fácilmente al proceso de fabricación. Esta diferencia de estrategia hace que los proyectos sean más largos, pero que algunos de las usuarias de la comunidad se involucren más y se conviertan en usuarias/colaboradoras, como el caso de LouLou, que comenzó él mismo a facilitar el proceso de sus compañeros.

En términos de construcción de ambos artefactos, los procesos se basan en el principio de modularidad que siguen los diseños: cada función está asociada a un módulo en el diseño, por lo tanto pueden aislarse y trabajarse por separado. Esto hace que sea más sencillo modificar, agregar o eliminar funcionalidades tanto del drone como de la incubadora.

En ambos casos también el aprendizaje se da por procesos iterativos de prueba y error. Las herramientas de prototipado rápido permiten que las pruebas tanto en el drone como en la incubadora se realicen de forma iterativa, solamente soldando una vez que se alcanza el diseño definitivo. Este nivel de iteración permitió a ambos equipos adaptar los artefactos a las necesidades propias de cada contexto: al drone mejorar su precisión y usabilidad, a la incubadora agregar un controlador de pH.

En términos de complejidad, similar a la mayoría de los proyectos de hardware abierto, tanto Vuela como Kossamtor demandan que los participantes manejen conceptos básicos de electrónica, programación y fabricación digital. Cada caso además exige conocimientos particulares: poder trabajar e interpretar imágenes aéreas en el caso del drone, y conocer el proceso de fermentación láctica en el caso del kossam. Necesariamente ambos casos trabajan con equipos organizadores interdisciplinarios, que cuentan con colaboradores que aportan expertise desde el punto de vista electrónico o de ingeniería, de programación, criterio científico que permite evaluar la calidad de los datos o de los productos obtenidos y principalmente, facilitación.

8.3.4 Construcción de capacidades

Las capacidades esperadas en ambos casos incluyeron el poder utilizar artefactos tecnológicos para fines propios, diferentes a los inicialmente definidos por los diseñadores y el lograr la suficiente autonomía necesaria para modificar y reparar los equipos localmente. Para lograr estas capacidades, ambos casos plantean relevante el poder trabajar de forma colaborativa e interdisciplinaria.

En el caso de Kossamtor, una de las diferencias en capacidades esperadas es que desde un inicio el proyecto planteó la necesidad de poder sostener económicamente la iniciativa a largo plazo. Vuela en cambio no planteó como capacidad la sostenibilidad económica, utilizando la estrategia de hablar a públicos amplios interesados en la producción de conocimiento, que le permitió conseguir un subsidio plenamente académico por parte del PROCISUR.

El grado de alcance de estas capacidades es diferente de acuerdo al grupo de participantes que se observe. En términos de grupo organizador, la metodología iterativa de desarrollo implementada tanto en Vuela como en Kossamtor permitió crear nuevos artefactos, adaptados a las necesidades y el contexto de ambos proyectos. Ambos equipos adquirieron habilidades técnicas que les permiten asegurar el mantenimiento y reparación tanto de las incubadoras como de los drones de forma autónoma y local. Además de las habilidades técnicas, ambos grupos organizadores lograron trabajar de forma colaborativa en equipos interdisciplinarios, y en el caso de Vuela, muy heterogéneos.

En cuanto a problematización, en ambos casos los grupos organizadores y el grupo de usuarias académicas de Vuela ya contaban con la capacidad de formular problemas y estrategias de producción de conocimiento científico. Sin embargo, uno de los objetivos de Vuela es alcanzar esta capacidad en la comunidad más amplia del proyecto. En el caso de Vuela, el largo proceso de aprendizaje y construcción de drones en conjunto con investigadores permitió que la comunidad problematice un aspecto de su realidad, una capacidad alcanzada incluso a pesar de las barreras del idioma.

8.3.5 Barreras

Aunque la cuestión de género es uno de los ejes principales de la estrategia del movimiento global GOSH, en ambos casos la proporción de participantes mujeres y género no conforme no es equilibrada, de formas diferentes. Ambos grupos organizadores cuentan con mujeres, incluyendo el liderazgo del proyecto en el caso

de Vuela. Sin embargo la participación de ellas en etapas de prototipado y desarrollo es menor que cuando se la compara con sus compañeros varones. En Kossamtor, las etapas de construcción de la incubadora fueron prácticamente llevadas a cabo por los varones ingenieros del equipo. La etapa del desarrollo del proyecto en sí, que requirió de conocimientos en microbiología, estuvo liderada por mujeres.

Para entender el no uso del artefacto en el contexto de Vuela en Melipilla, algunas de las barreras principales que se observan son el idioma, el trabajo voluntario, la falta de infraestructura y la motivación difusa. La barrera del idioma pudo sortearse a la hora de construir el artefacto, pero impidió discusiones de mayor profundidad que hubieran permitido trabajar mejor la motivación del grupo. El carácter voluntario de los talleres de Vuela, resultó en que sólo los miembros más entusiastas de la comunidad pudieran participar de forma sostenida, a diferencia de las usuarias académicas. Sumado a esto la falta de infraestructura, como ser buena conexión a internet, disponibilidad de herramientas, disponibilidad de computadoras, la participación continuada de miembros de la comunidad se vio muy dificultada. Algo similar ocurre con KossamTor y las usuarias de las incubadoras, dado el bajo grado de alfabetización y que no hablan el idioma que se maneja en la comunidad, además de los cortes de luz frecuentes y algunos problemas de diseño del artefacto que impiden su uso extendido.

Una de las diferencias entre ambos casos es la disponibilidad de espacios propios. Mboalab posee su propio centro donde se cuenta con computadoras, herramientas de fabricación digital y espacios de reunión. Vuela, en cambio, realizó los talleres de forma itinerante entre diferentes espacios comunitarios. En algunos casos, estos espacios imponían sus propias reglas que limitaban la participación de algunos grupos.

Las herramientas que se utilizan para documentar el trabajo de prototipado y desarrollo constituyen una barrera en sí mismas, tanto para el equipo organizador como para la comunidad más amplia en el caso de Vuela. En este último, la complejidad del artefacto a desarrollar también constituye una barrera a la participación sostenida, que sin embargo el equipo organizador pudo sortear a través de estrategias de inclusión y facilitación.

8.4 Análisis comparativo

8.4.1 Contexto de las actividades

Los casos descritos tanto en el bloque académico como en el bloque comunitario llevan adelante sus actividades en distintos países del sur global: Perú (Gorgas), Tanzania (Open Flexure), Chile y Argentina (Vuela), Camerún (Kossamtor). En este sentido, la problematización que da origen a los proyectos presenta puntos en común: costos prohibitivos para la adquisición y reparación de herramientas científicas, diseños no adaptados a la realidad local, dependencia de los centros productores en Europa o Estados Unidos.

Derivado de este punto, otra problematización común a todos los casos es la desconexión entre la producción de conocimiento científico y las problemáticas locales. En los casos académicos este aspecto aparece como ineficiencia en la producción de conocimiento: los temas están en agenda, ya sea el control de malaria en el caso de Gorgas, o el diagnóstico de la misma enfermedad, en el caso de Open Flexure. Pero la falta de equipos adaptados a los contextos locales hace que no se puedan investigar de forma adecuada. Los casos comunitarios en cambio problematizan situaciones que viven actores que se encuentran por fuera de la agenda científica oficial. Tanto en Vuela como Kossamtor, son problemáticas ligadas al desarrollo, que podrían trabajarse a partir de la producción de ciencia y tecnología aplicadas.

Frente a estas variantes en la problematización, los proyectos proponen diferentes visiones de futuro. El punto en común de todas las propuestas es reconectar la producción de conocimiento científico-tecnológico con problemáticas locales, por lo que todos los casos se plantean con un impacto directo en la comunidad. El concepto clave para instrumentar el impacto es alcanzar la autonomía: poder producir, adaptar y reparar localmente las herramientas científicas. Los casos académicos plantean una vía de impacto ligada a lo institucional: realizar pruebas piloto en centros de investigación prestigiosos (Open Flexure), influir en políticas del ministerio de salud (Gorgas tracker). Los casos comunitarios conciben el impacto de forma más independiente, a través de las mismas comunidades produciendo datos que puedan visibilizar la problemática (Vuela), o fabricando incubadoras para generar ingresos (Kossamtor).

En términos de innovación, todos los casos comparten la característica de ser más accesibles a las usuarias locales que las versiones disponibles comercialmente. Sin embargo, en el caso del bloque académico además de ser accesibles se desarrollan funcionalidades nuevas que no están disponibles en el mercado, como por ejemplo el tracker/reportero implementado por el equipo peruano. El desarrollo sigue etapas similares en todos los casos, comenzando con la realización de un prototipo, siguiendo

con la adaptación iterativa del modelo y luego implementando esta primera versión «definitiva» con mejoras incrementales a lo largo del tiempo. Una de las diferencias entre casos académicos y comunitarios es que tanto Vuela como Kossantor partieron de diseños ya probados y que funcionan, por lo que la primera etapa de prototipado es una replicación. En los casos académicos el prototipado se realizó ya sea desde cero (Open Flexure) o a partir de «principios activos» como en el caso de Gorgas y el rePhone.

La implementación de las etapas es diferente entre casos académicos, donde se realiza una prueba de concepto, y casos comunitarios, donde directamente se comienza a utilizar el artefacto y se va modificando sobre la marcha en caso de necesitarlo. Para poder desarrollar estas primeras etapas de producción, las iniciativas académicas y comunitarias se financian de forma diferente. En el caso académico la naturaleza de los proyectos no les permite acceder a subsidios convencionales de investigación. Esto se ve en que tanto Gorgas como Open Flexure están financiados por fondos no «tradicionales»: una competencia de fondos semilla en la universidad peruana y un fondo de cooperación entre el Reino Unido y países en desarrollo, respectivamente. Los proyectos comunitarios se financiaron principalmente mediante subsidios a proyectos de innovación, que permitieron comprar materiales en ambos casos pero no financiar horas de trabajo.

La cuestión de la sostenibilidad económica de los proyectos es variada. Una de las vías para sostener las iniciativas es vender los equipos producidos y ofrecer el servicio de soporte técnico. En dos de los proyectos, Open Flexure y Kossantor, este era un objetivo inicial. En ambos casos se cuenta con espacios propios (makerspaces) con la infraestructura necesaria para dichas actividades. En el caso de Gorgas, a partir del proyecto se creó el Laboratorio de Innovación en Salud, que permite atraer subsidios no sólo académicos sino también de innovación. Adicionalmente, el equipo espera poder proveer servicios al ministerio de salud en torno al Plan Malaria Cero, y explora alternativas de proyectos derivados de Gorgas que puedan ser monetizables. Uno de esos ejemplos incluye el agregado de monitoreo ambiental a Gorgas y su utilización en proyectos de ciencia ciudadana. Siguiendo con este rol híbrido académico/innovación de Gorgas, Vuela actualmente financia sus talleres a través de proyectos académicos, que permiten expandir las actividades a siete países de latinoamérica. Estos fondos sin embargo no cubren actividades comunitarias.

8.4.2 Modos de la participación y diversidad

Una distinción importante respecto de los análisis de participación en la producción de conocimiento es que la propuesta de GOSH no implica que nuevos

actores participen de forma «convencional» sino que se refiere a un proceso anterior. Se trata tanto de comprender quiénes participan en el proceso de diseño como de quienes utilizan esas herramientas para producir conocimiento u obtener beneficios derivados del uso de la tecnología. Es por esto que el análisis se centra en la participación a través de diferentes etapas: ideación, prototipado, testeo y producción; y la participación en el uso de la herramienta, producción de datos y producción de conocimiento a partir de este uso.

Otra de los puntos relevantes es que en los análisis de participación en ciencia suele hacerse la distinción entre actores académicos, quienes poseen el dominio de la producción de conocimiento, y no académicos: comunidades, legos, sociedad, quienes «intentan participar». En el caso de GOSH la división es diferente. La producción de herramientas científicas está centralizada en industrias especializadas en el norte global, y su acceso está bloqueado por patentes. Como muestra la discusión sobre el movimiento global, el argumento de la de infraestructura apela a públicos amplios. Los excluidos ya no son sólo los «no académicos»: también son aquellos académicos que intentan modificar sus herramientas de trabajo sin éxito, y aquellos académicos en contextos de escasa inversión en CyT que no pueden acceder a las herramientas para hacer ciencia. Por fuera de la academia, se trata de comunidades que pretenden producir conocimiento para sus propios fines o beneficiarse de los usos de nuevas tecnologías. La distinción de proyectos en bloques académicos y comunitarios responde a esta necesidad de observar cómo la apertura de las herramientas científicas opera de forma diferente en la participación según estos contextos diferentes. En todos los proyectos se logran incorporar nuevos actores en distintas etapas del diseño, pero no todos incorporan nuevos actores al uso de la herramienta. El análisis de la participación a través de las etapas permite observar que todos los proyectos atraviesan etapas de ideación, prototipado iterativo, elección del diseño definitivo, producción y luego uso.

En el bloque académico, la inclusión de nuevos actores responde a lógicas de producción de conocimiento convencionales en las cuales los nuevos participantes proveen el servicio de fabricación. La base de participantes aumenta y se diversifica reemplazando proveedores externos por actores locales, guiada por principios de eficiencia (menores costos, mayor replicación o número de muestras), autonomía (reparabilidad, accesibilidad), capacidad de prueba de nuevas hipótesis (personalización del diseño). En esta división de tareas, el rol de las usuarias/investigadoras es activo, involucrándose en etapas de diseño y fabricación que antes les resultaban ajenas. El desarrollo de herramientas implica un nuevo proceso de producción de conocimiento en sí mismo; en los casos académicos la apertura de este proceso a nuevos participantes resulta en desarrollos paralelos. Una de las diferencias principales entre estos casos surge de la maduración diferencial de

Cuadro 8.1: Cuadro síntesis: Contextos

	Gorgas Tracker	Open Flexure	Vuela	Kossantor
Problematicación	costos prohibitivos equipos no adaptables equipos no reparables desección ciencia/comunidad	costos prohibitivos equipos no adaptables equipos no reparables dependencia	desección ciencia/comunidad grupos marginados brecha tecnológica/capacidades	falta de equipos en universidades equipos no reparables brecha teoría y práctica grupos vulnerables
Visión	autonomía reparabilidad diseño basado en usuario impacto en políticas	autonomía reparabilidad circuitos cortos comercialización sostenible	democratización conocimiento empoderamiento tecnológico	innovación local impacto en comunidad generación de ingresos seguridad alimentaria
Innovación	tolerancia clima extremop, interfaz gráfica, batería extendida	Bisagras flexibles impresas, apto para investigación, accesible	Drones accesibles, modificables, aptos para investigación	Incubadoras accesibles con control de temperatura y pH
Etapas	prototipado iteraciones con usuarias prueba piloto	adaptación del prototipo iteraciones con usuarias prueba piloto	réplica adaptación iterativa desarrollo de fork	réplica adaptación iterativa desarrollo de fork
Financiamiento inicial	Fondo semilla académico	Fondo cooperación con países en desarrollo (UK)	Materiales: becas innovación Trabajo: proyectos académicos trabajo voluntario	Materiales: Beca innovación Trabajo: proyectos internacionales voluntarios, pasantes
Modalidad	Prueba piloto a campo	Prueba piloto en IHI	Talleres itinerantes en espacios comunitarios	Proyecto estable en espacio propio
Sostenibilidad	Fondos académicos Fondos de innovación Proyectos derivados monetizables	Venta de equipos a escuelas Servicios de reparación Proyectos derivados monetizables	Fondos académicos para desarrollo de talleres	Venta de equipos a universidades Venta de equipos a particulares

ambos proyectos. Gorgas tracker, en su primer piloto, realiza toda su producción dentro de la Universidad; Open Flexure, ya más avanzado, terceriza la producción de los artefactos en actores extra académicos, como el makerspace STICLab. Estos nuevos proveedores de servicios participan en la ideación, prototipado, prueba y fabricación, pero no necesariamente en el uso y la producción de conocimiento derivada del mismo. Sin embargo, a partir de la participación en la fabricación, STICLab comenzó con la producción paralela de microscopios educativos. En el caso de Gorgas, estudiantes que colaboraron en la producción crearon «forks» que utilizaron en sus propios proyectos. El perfil de los «fabricantes» y de los «usuarias/investigadoras» es similar: se trata de profesionales jóvenes, hombres, con formación de ingeniería en el primer caso y científica en el segundo, en contextos de recursos limitados para desarrollar sus tareas. En el caso de los desarrolladores originales, aplicable al equipo inglés de Open Flexure, presentan todos este mismo perfil pero dentro de una universidad con alto presupuesto y sin mayores limitaciones económicas.

La lógica de los proyectos comunitarios está orientada a bajar las barreras de participación lo más posible, para que personas dentro de los grupos más excluidos puedan tanto construir como utilizar los artefactos. En particular en los proyectos estudiados se observa cómo el perfil de las usuarias/fabricantes abarca grupos notoriamente excluidos de la producción de ciencia y tecnología. Tanto Vuela como Kossantor trabajan con poblaciones muy vulnerables en términos sociales (migrantes, mujeres rurales), de género, económicos. Un aspecto interesante es que en los casos comunitarios, el proceso de ideación estuvo dominado por mujeres, ausentes en todas las otras etapas de diseño. En el caso de Vuela, la idea de conectar desigualdades en el territorio con desigualdades en lo digital surgió de la experiencia previa de la organizadora con la comunidad de Melipilla. En el caso de Kossantor, las micro biólogas del MboaLab sugirieron utilizar la nueva incubadora para producir kossam de forma más rápida que la manera tradicional, e incorporar su uso en la comunidad rural de mujeres.

8.4.3 Trabajos de domesticación

Las estrategias de cada caso para llevar a cabo los proyectos fueron diferentes pero presentan algunos patrones. En todos los casos algunos participantes, donde se incluyen los iniciadores del proyecto y colaboradores más cercanos, lideran el prototipado y desarrollo, mientras que un círculo más amplio de participantes se involucra como usuaria o replicador de dispositivos. En algunos casos esta división es más clara: Gorgas por ejemplo cuenta con un equipo claramente delimitado de desarrolladores (el equipo investigador) y un círculo más amplio de usuarias,

tanto vecinos de la comunidad como agentes promotores de salud, que prueban el dispositivo y sugieren cambios. Kossantor fue desarrollado por un grupo de colaboradores del MboaLab quienes luego enseñan a las usuarias a construir y utilizar la incubadora.

En otros casos esa división no es tan clara, dándose origen a procesos de co-desarrollo altamente facilitados. En este sentido Open Flexure es un caso donde esto se observa claramente, ya que el equipo original de desarrollo y el de fabricación constituyen dos grupos separados geográficamente. Sin embargo, a partir del proceso de intercambios y estancias prolongadas entre los equipos, los integrantes del makerspace no sólo se volvieron fabricantes de los microscopios; también son co-desarrolladores. Son ellos quienes reciben las impresiones de las usuarias en el Ifakara Health Institute e implementan las mejoras necesarias, en colaboración con el grupo en Bath. En cuanto a Vuela, el equipo organizador trabaja a la par de los participantes de los talleres, aprendiendo sobre la marcha qué cosas funcionan y qué cosas no. Esto demanda un esfuerzo muy significativo de facilitación, especialmente cuando existe una amplia diferencia de conocimientos técnicos entre los participantes.

Esta diferencia en metodologías se puede observar en la documentación online del proyecto y cómo difiere en ambos casos. Open Flexure y Vuela documentan a medida que hacen, Gorgas y Kossantor documentaron el proceso hacia el final, cuando el diseño estaba definido. Además, en el primer caso se incluye la documentación de las decisiones que llevaron a elegir una opción o la otra; Kossantor lo hace pero de forma incompleta. La documentación es mencionada en todos los casos como una de las tareas que más esfuerzo demanda a los participantes, no sólo por el tiempo sino por la falta de herramientas adecuadas para hacerlo. No todos los participantes están en condiciones de utilizar las herramientas «estándar» de documentación de hardware abierto, lo que demanda aún más facilitación por parte de los organizadores.

En cuanto a las habilidades técnicas requeridas para desarrollar los proyectos, algunas son comunes a todos los casos: poder manejar una computadora, saber buscar información en foros y poder leer hojas de datos de componentes, entender lo que otros hicieron, poder instalar software. En todos los casos es necesario que alguien cuente con manejo básico de electrónica y programación. La fabricación digital también está presente en todos los casos, en dos opciones diferentes: impresión 3D o corte láser. Se utilizan tanto para fabricar las contenciones o cajas para los componentes electrónicos, como para obtener las estructuras que sostienen a los dispositivos. Otra habilidad relevante en todos los casos es la de manejar software de diseño y documentación de proyectos de hardware.

Cuadro 8.2: Cuadro síntesis: Modos de participación y diversidad

	Gorgas Tracker	Open Flexure	Vuela	Kossantor
Perfiles desarrolladores	Epidemiólogo Ing. electrónico Ingeniero ambiental Estudiantes de maestría	Físicos (UK) Programadores (UK) Ingenieros (TZ)	Investigadores Técnicos electrónicos Electricistas Múltiples vecinos	Biólogos Micro biólogas Ingenieros en general
Perfiles usuarios	Comunidades indígenas Agentes de salud	Técnicos de laboratorio	vecinos del barrio Investigadores PROCISUR	Mujeres comunidad rural Estudiantes
Nuevos actores	Laboratorio de Biodiseño	STICLab makerspace	Comunidad de Melipilla Colaboradores online	MboaLab Makerspace
Género	Mujeres sólo como usuarias	Mujeres sólo como usuarias	Mujeres organizadoras Participantes pero minoría	Mujeres desarrolladoras de proyecto no de tecnología
Inclusión	Contexto de sur global Comunidades indígenas sólo como usuarios	Contexto de sur global	Migrantes comunidades vulnerables contexto de sur global	Contexto de sur global Mujeres rurales como usuarias
Estrategias de inclusión	Talleres con usuarios Interfaces físicas, UX	Documentación audiovisual Foros de discusión Interfaces gráficas, UX	Documentación multilingüe Documentación audiovisual Eventos comunitarios Facilitación Perspectiva de género	Documentación audiovisual Foros de discusión Interfaces gráficas, UX
Sostenibilidad	Fondos académicos Fondos de innovación Proyectos monetizables	Venta de equipos a escuelas Servicios de reparación Proyectos monetizables	Fondos académicos para desarrollo de talleres	Venta de equipos a universidades y particulares

Más allá del set de habilidades para construir hardware abierto, las particularidades de cada caso hacen que los proyectos requieran de expertise científico particular: epidemiólogos, biólogos, microbiólogos, agrónomos. La participación de estos roles científicos híbridos es lo que diferencia a estos proyectos de iniciativas convencionales de desarrollo de tecnología. Estos investigadores funcionan como puente que permite sistematizar las experiencias en forma de conocimiento científico, y permiten guiar el diseño hacia parámetros de calidad necesarios para este fin.

En el caso de los proyectos que realizan más actividades de co-desarrollo, la habilidad de poder facilitar talleres con personas con diversos niveles de expertise y barreras de todo tipo resulta fundamental. En los casos comunitarios estas habilidades son inherentes a los organizadores, que cuentan por lo general con un capital en términos de confianza con la comunidad. En el caso de Vuela, una de las organizadoras se encontraba trabajando en Melipilla desde el 2016. En Kossantor, la comunidad donde se hacen los talleres se encuentra alrededor del makerspace, por lo que los actores se conocen. En los casos académicos, una de habilidades no técnicas relevantes es la gestión de proyectos de innovación, que permite ordenar el trabajo y evaluar los avances de forma sistemática, y la capacidad de trabajar en equipos interdisciplinarios.

Siendo el set de habilidades necesarias tan diverso en todos los casos, los proyectos acuden a diversas estrategias para poder desarrollar sus actividades. En todos los casos el grupo más ligado al desarrollo es altamente interdisciplinario. En el caso de los que presentan co-desarrollo la formación de pares es una de las fuentes más relevantes de habilidades (todos hacen todo); en los casos donde hay grupos definidos se suele «ordenar» la participación por especialidad. La participación en foros virtuales y las colaboraciones específicas son estrategias que permiten sortear obstáculos técnicos específicos.

En todos los casos la metodología de trabajo estuvo guiada por las necesidades que plantean las usuarias, con el objetivo de desarrollar herramientas que puedan ser utilizadas en contexto. A fin de incorporar las opiniones de las usuarias en el diseño, en todos los proyectos se utilizó un concepto de trabajo modular. Esto implica que el dispositivo tiene varias partes que cumplen distintas funciones, que se combinan para servir al propósito general. Los módulos pueden ser retirados, reemplazados o actualizados sin afectar a otros componentes. El diseño modular combinado con una metodología de trabajo iterativa permite avanzar rápidamente en distintas versiones de prototipos para que las usuarias puedan probar. Al iterar el proceso de consulta-diseño-prueba en períodos cortos de tiempo el equipo aprende en cada ciclo, y se obtienen resultados más ajustados a las necesidades, ya que la

validación no se realiza una vez cristalizado un diseño.

Las instancias de prueba con usuaria toman distintas formas de acuerdo a la aproximación más orientada a co-desarrollo o a un grupo desarrollador claramente definido. Siendo Vuela el caso más extremo de co-desarrollo, las pruebas se realizaban al mismo tiempo durante los talleres de fabricación. En todos los otros casos existieron instancias de prueba con las usuarias ya sea en talleres, sesiones a campo o visitas a lugares de trabajo.

En todos los casos la participación en los proyectos implicó aprendizajes significativos en términos de colaboración, apertura y trabajo interdisciplinario. Ensamblar conocimientos tan diversos en un mismo proyecto implicó que los participantes desarrollen un lenguaje común, que les permitió alcanzar el objetivo. El lenguaje común puede en algunos casos romper silos académicos o de disciplina, como en el caso de Gorgas o de Kossantor, donde se comparten espacios de trabajo. Pero también puede funcionar como puente entre culturas, experiencias de vida y objetivos distintos, como en el caso de Vuela y Open Flexure.

En los casos comunitarios uno de los procesos más importantes fue la generación de confianza en los participantes para poder desarmar e intervenir artefactos tecnológicos sin miedo. La metodología iterativa, la valoración de la prueba y error son formas de trabajo que contribuyeron a fortalecer esa confianza en los colaboradores, siendo la formación de pares una de las estrategias fundamentales para los proyectos.

8.4.4 Construcción de capacidades

En todos los casos, las capacidades esperadas incluyen aquellas derivadas de la idea de autonomía: poder diseñar las propias herramientas, que sean útiles en el contexto local. La mayoría de los casos refirieron específicamente a la reparabilidad de los equipos como una capacidad que era esperable alcanzar. Tanto Open Flexure como Kossantor sumaron la capacidad de generar un modelo de negocio para los makerspaces involucrados en el proyecto.

En ambos casos académicos se mencionó la capacidad de construir no sólo herramientas que funcionen sino que cumplan con ciertos estándares de calidad. Esta capacidad es particularmente importante para Open Flexure, dado que el caso de uso se basa en diagnósticos de malaria. Para Gorgas, una de las capacidades esperadas adicionales fue la posibilidad de que el proyecto sirviera como instancia de formación de estudiantes e investigadores de la misma universidad.

Los casos comunitarios sumaron capacidades diferentes, relacionadas a la inclusión de grupos minoritarios o excluidos en la producción de ciencia y tecnología. Para Vuela una de las capacidades esperadas era que los participantes pudieran adquirir nuevos conocimientos y habilidades técnicas, lo que explica la importancia del proceso de facilitación y formación entre pares, y que estas desaten procesos de problematización.

Otra capacidad esperada en Vuela que difiere del resto de los proyectos es que actores académicos puedan colaborar con actores comunitarios en la construcción de un dispositivo. En el resto de los casos el aprendizaje y la colaboración se conceptualizan como necesarios en función del objetivo de fabricar una herramienta, pero no como objetivos.

De este set de expectativas, todos los proyectos pudieron alcanzar las capacidades relacionadas a la autonomía: en todos los casos se llegó a producir localmente una herramienta adaptada a las necesidades y el contexto, que puede ser utilizada y reparada por los participantes del proyecto. En todos los casos se realizaron modificaciones al diseño del cual se partió originalmente, tanto en términos de funcionalidad como de usabilidad.

En ambos casos académicos, además, los desarrollos lograron la calidad esperada, con un alto grado de adopción por parte de las usuarias y la publicación de resultados en revistas científicas internacionales con referato. En términos de impacto, Gorgas logró a partir de sus resultados crear el Laboratorio de Innovación en Salud, e influir en la política pública del ministerio de salud peruano. Open Flexure postuló y ganó un fondo de cooperación para desarrollar métodos de detección automática de malaria basados en su microscopio producido localmente.

Tanto Open Flexure como Kossantor alcanzaron la capacidad de comercializar los equipos fabricados localmente. Open Flexure trabaja en la certificación de calidad del dispositivo y aguarda una pronta aprobación del gobierno de Tanzania para proveer de microscopios grado educativo a las escuelas de Dar es-Salam, mientras que Kossantor ya proveyó de incubadoras a la Universidad Católica de Yaoundé y otros clientes particulares.

En los casos comunitarios, el desarrollo de talleres de Kossantor logró que algunas mujeres produzcan kossam para consumo propio y comercialización. Vuela desarrolló un proceso largo de co-desarrollo con la comunidad de Melipilla que decantó en la formulación de una problemática local en términos de proyecto de investigación comunitario. Además, los vecinos que participaron de los talleres adquirieron las capacidades técnicas necesarias para fabricar, operar y reparar los drones a partir de instancias de autoformación entre pares.

Cuadro 8.3: Cuadro síntesis: Trabajos de domesticación

	Gorgas Tracker	Open Flexure	Vuela	Kossantor
Estrategia	Desarrollo y producción a cargo de investigadores; pruebas con usuarios	Desarrollo en UK, co-desarrollo y producción TZ, pruebas con usuarios TZ	Co-desarrollo entre org y participantes; organizadores facilitan	Desarrollo y producción a cargo de organizadores; facilitan adopción
Habilidades técnicas requeridas	programación electrónica básica impresión 3D trabajo a campo s ofware especializado epidemiología	programación electrónica básica impresión 3D óptica técnicas de diagnóstico software especializado	programación electrónica básica corte láser georreferenciamiento manejo de drone software especializado	programación electrónica básica corte láser microbiología software especializado
Otras habilidades	burocracia importación participación en foros gestión de proyecto	burocracia importación participación en foros gestión de proyecto	Facilitación de talleres participación en foros burocracia importación	facilitación de talleres participación en foros
Fuente de habilidades	equipo interdisciplinario colaboración proveedor	Formación pares facilitada experiencia comunitaria colaboración específica	equipo interdisciplinario visitas formación entre equipos	equipo interdisciplinario experiencia comunitaria colaboración makerspaces
Metodología de trabajo	Basada en usuario Diseño modular Iteraciones rápidas	Basada en usuario Diseño modular Iteraciones rápidas	Basada en usuario Diseño modular Iteraciones rápidas	Basada en usuario Diseño modular Iteraciones rápidas
Usuarios	Pruebas con investigadores y usuarios finales	Canal abierto durante pruebas piloto con usuarios	Usuarios-desarrolladores en etapa comunitaria y en academia	Talleres de fabricación y uso con mujeres de comunidad Mbokepé
Documentación	Especificaciones técnicas Post-desarrollo	Especificaciones técnicas Toma de decisiones Durante desarrollo	Especificaciones técnicas Toma de decisión Durante desarrollo	Especificaciones técnicas Toma de decisiones Post-desarrollo
Aprendizajes simbólicos	Desarrollo lenguaje común Metodología de innovación	Desarrollo lenguaje común Empatía dif culturales	Confianza tecnología Formación entre pares	Desarrollo lenguaje común Apertura y colaboración
Uso de licencias	Apertura y colaboración GPL v3.0	Apertura y colaboración CERN OHL 1.2	Apertura y colaboración CC 4.0	GPL v3.0

Algunas de las capacidades alcanzadas no fueron contempladas inicialmente en los proyectos. En los casos académicos estas hacen referencia principalmente a la capacidad de gestionar proyectos de innovación y de trabajar de forma interdisciplinaria, aprendizajes que se implementan por ejemplo en el nuevo Laboratorio de Innovación en Salud. Otra capacidad mencionada en todos los casos fue la de crear nuevos proyectos y ponerlos a prueba a partir de estos desarrollos. Gorgas está desarrollando un monitor de calidad de aire a partir del prototipo, en Open Flexure los técnicos del IHI están ideando una forma de automatizar el preparado de muestras, algunos participantes de Vuela están automatizando un set herramientas para trabajo en electrónica, en Kossantor las microbiólogas intentan agregar la función de monitoreo de pH en tiempo real.

8.4.5 Barreras comunes

Una de las limitaciones principales que aparece en todos los casos es la cuestión de género y minorías en términos de quiénes participan en los proyectos. En el bloque académico la presencia de mujeres es no significativa, en el bloque comunitario aparecen en el grupo organizador, en mayor proporción en Kossantor que en Vuela. Sin embargo, salvo el caso de la iniciadora del proyecto en Vuela, las mujeres no se involucran en las etapas de prototipado y fabricación de los dispositivos. Sus roles están relacionados principalmente a la facilitación y la relación con la comunidad. Existe participación de minorías, como ser las comunidades indígenas en Perú o las mujeres rurales en Yaoundé, pero su rol está limitado a ser usuarias de los dispositivos.

Los procesos de facilitación y co-desarrollo hicieron que en Vuela algunos de los vecinos de Melipilla sobrepasaran el rol de usuarias para convertirse en desarrolladores, sin embargo éste fue un rol que no pudo sostenerse a lo largo del tiempo. Falta de infraestructura apropiada en términos de internet, comunicaciones pero también de espacios y motivaciones, obstaculizan que el trabajo de los vecinos siga adelante. Los organizadores atribuyen el no uso principalmente a un problema de motivación, y consideran que la problematización de la cantera no fue suficiente para organizar a la comunidad de forma tal de independizarse de la facilitación. La única forma de seguir adelante con el proyecto para el grupo organizador fue formar parte de un proyecto académico, que no financia talleres comunitarios.

Esta distinción tan clara entre contextos académicos y comunitarios en Vuela se vio reflejada también en una de las capacidades no logradas por el proyecto: la colaboración directa entre investigadores y vecinos. Más allá de que ambos grupos participaron del desarrollo del drone, lo hicieron por separado. El hecho de que

los investigadores cuenten con su tiempo de participación remunerado hizo que ésta sea sostenida en el tiempo y muy activa. En cambio para los vecinos resultó muy complicado dedicar trabajo sostenido voluntario al proyecto. Los espacios diferenciados entre comunidad y academia sólo pudieron conectarse cuando los investigadores salieron al barrio.

Los problemas de infraestructura también están presentes en Kossantor, ya que la comunidad donde habitan las mujeres sufre cortes de energía muy frecuentemente que impide hacer uso de los equipos. Una de las próximas iteraciones planificadas implica agrandar la incubadora, porque el tamaño actual impide producir una cantidad suficiente para la comercialización. Finalmente, estas limitaciones hacen que las mujeres que actualmente utilizan la incubadora lo hagan en el makerspace y de forma limitada.

En ambos casos comunitarios las barreras del idioma presentaron un obstáculo muy importante a la participación, no tanto en la etapa de fabricación sino en la de reflexión y problematización de la realidad. Los procesos largos y altamente facilitados de Vuela permitieron avanzar en ese sentido, pero en el caso de Kossantor aún el proyecto no implementa este tipo de estrategias.

En términos de documentación, Vuela y Open Flexure son los proyectos más completos y los que obtienen más colaboraciones por esa vía. La documentación contempla tanto en especificaciones técnicas como la documentación de por qué se toman ciertas decisiones y no otras. Esta dedicación a la documentación, disponible en formatos audiovisuales y en el caso de Vuela en varios idiomas, se ve reflejada en un volumen mucho mayor de colaboración online respecto de los proyectos Gorgas y Kossantor, que solo documentaron especificaciones a posteriori del prototipado.

El proceso de co-desarrollo en el caso de Open Flexure también se ve obstaculizado pero por factores diferentes. En este caso la infraestructura disponible en Dar es-Salam tampoco favorece un trabajo equitativo entre las dos partes, pero los problemas surgen principalmente de las barreras de acceso en el uso de software para diseñar y documentar el proyecto. En todos los casos, la complejidad del software utilizado para producir hardware abierto limita la participación de ciertos grupos y restringe la visibilidad de los proyectos frente a potenciales colaboradores externos.

Cuadro 8.4: Cuadro síntesis: Construcción de capacidades

	Gorgas Tracker	Open Flexure	Vuela	Kossamtor
Esperadas	Impacto local Autonomía diseño Usabilidad local Formación investigadores	Autonomía diseño Usabilidad local Desarrollos de calidad Reparabilidad Circuito corto	Inclusión Autonomía diseño Usabilidad local Reparabilidad Problematización realidad Capacidades técnicas Colaborar academia/no acad	Impacto local Autonomía diseño Usabilidad local Reparabilidad Sostenibilidad
Logradas	Impacto políticas públicas Nuevas funcionalidades Equipos reparables Equipos aptos Amazonia Nuevos cursos	Nuevas funcionalidades Equipos usables localmente Pruebas de calidad superadas Equipos reparables	Inclusión en fabricación Nuevas funcionalidades Mejoras de usabilidad Equipos reparables Problematización Autoformación	Impacto comunidad rural Nuevas funcionalidades Mejoras usabilidad Equipos reparables Comercialización
Logradas no esperadas	Gestión de innovación Trabajo interdisciplinario Reparabilidad Nuevos proyectos	Alto impacto en diagnóstico Lenguaje común co-desarrollo Nuevas ideas y proyectos Expertos locales	Confianza tecnología Desarrollo complejo Nuevas ideas y proyectos	Colaboración con otros espacios
Limitantes	Documentación en inglés insunos discontinuados	Participación TZ en desarrollo Lenta comercialización	Discusión limitada en proyecto comunitario interrumpido	Baja adopción Necesidad facilitación Comercialización kossam limitada
Barreras	Falta apoyo importaciones Rigidez institucional	Software de diseño Infra telecomunicaciones Falta estrategias de género Burocracia estatal Certificación calidad	Idioma Falta de infraestructura Falta de espacio propio sexismo academia/no academia Trabajo no remunerado	Documentación Idioma de la comunidad Falta de infraestructura Tamaño incubadora

8.5 Resumen del capítulo

Este capítulo introdujo los resultados del análisis comparativo de los casos de estudio en diferentes niveles: entre los proyectos académicos, entre los comunitarios y una comparación global.

El análisis comparativo en cada una de las dimensiones muestra que aunque existen patrones asociados a cada contexto, en algunos casos las diferencias no siguen este patrón. La principal en este sentido es la diferencia en los modos de participación dada por objetivos diferentes de cada proyecto. Esto hace que la naturaleza de los diálogos sea más interdisciplinaria o entre visiones del mundo diferentes. Los trabajos de domesticación mostraron similitudes en términos de prácticas de diseño modular, trabajo iterativo y orientado a usuaria; en casos donde se dan instancias de coproducción mayor también el trabajo es mayor en términos de facilitación. En todos los casos el trabajo más significativo es el de construcción de un lenguaje común que habilite la formación de pares y la colaboración. El análisis de capacidades muestra similitudes en términos de autonomía alcanzada por los proyectos, reparabilidad, impacto social. Las diferencias aparecen en sostenibilidad y en capacidades de trabajar con confianza con la tecnología. Todos los proyectos generaron nuevos proyectos a partir de estas experiencias.

En el próximo capítulo se discute cómo los resultados presentados hasta el momento contribuyen a responder la pregunta de investigación: cómo y en qué medida el hardware científico abierto promueve la democratización de la producción de ciencia y tecnología.

Capítulo 9

Discusión

Los capítulos 5 a 8 presentaron los resultados del trabajo empírico tanto sobre el movimiento GOSH como sobre los proyectos de hardware científico abierto en sus contextos particulares. Este capítulo cambia el eje del análisis para poner estos resultados a dialogar con la literatura presentada en los capítulos 2 y 3, en función de la pregunta de investigación: ¿en qué medida y de qué forma la práctica del hardware científico abierto contribuye a la democratización de la producción de conocimiento en la periferia?

Esta tarea se divide en tres grandes secciones organizadas en ejes temáticos, guiadas por cada una de las preguntas específicas de la investigación. El capítulo concluye con una síntesis de los principales hallazgos de este estudio.

9.1 Pregunta 1: GOSH como nicho estratégico

Esta sección discute, a partir del análisis del colectivo en términos históricos y como movimiento de innovación de base, cómo GOSH se conforma como nicho estratégico de innovación. A modo de síntesis, GOSH aprovecha ventanas de oportunidad tanto técnicas como políticas para sumar actores académicos que «legitiman» sus demandas; la diversidad es utilizada estratégicamente para motorizar una acción colectiva de alto impacto a través de momentos de expansión y contracción; la creatividad y lo lúdico se aprovechan como punto de partida para poner a dialogar visiones del mundo muy diferentes y formar identidad. La sección continúa describiendo escenarios especulativos alrededor de las tensiones internas entre marcos conceptuales en el nicho y cómo esto puede conducir a la fragmentación, para finalizar con el rol que juegan las políticas institucionales en esa

tensión a través de potenciar o invisibilizar las narrativas y prácticas alternativas presentes en GOSH.

9.1.1 Nuevas legitimaciones

El análisis del capítulo 6 muestra cómo GOSH aprovechó ventanas de oportunidad tanto técnicas como políticas para establecer sus demandas colectivas. Las primeras incluyen la amplia difusión y menor costo de las técnicas de fabricación digital, la aparición de proyectos como Arduino, que bajan las barreras al diseño de artefactos electrónicos, la apertura de servicios de fabricación en volumen, principalmente localizados en China y accesibles a individuos y las múltiples plataformas online para el intercambio de conocimiento y experiencias sin fricción. Estas oportunidades también fueron aprovechadas por otros movimientos, como el movimiento *maker* (Anderson 2012; Gibb 2014a).

Activistas, artistas, educadores informales y algunos científicos ya se encontraban trabajando con hardware abierto aplicado a la ciencia de forma aislada, e incluso ya habían surgido iniciativas que intentaban reunir a parte de la comunidad, sin mayor éxito. ¿Por qué GOSH pudo consolidar su posición y mantenerla en el tiempo? Los resultados del análisis muestran que una de las respuestas está en cómo GOSH supo aprovechar una serie de ventanas de oportunidad y cambios políticos: el arduo trabajo de discusión y consolidación de las licencias para hardware abierto entre expertos dentro y fuera de la academia (Ayass y Serrano 2012), el cambio positivo de percepción sobre la legitimidad y potencialidad de la ciencia comunitaria, la normalización de la discusión sobre la propiedad intelectual del conocimiento científico por parte del movimiento de ciencia abierta, y el giro en la academia hacia un paradigma de promoción de la inclusión y diversidad, son algunos de estos factores relevantes en la génesis de GOSH.

Estos factores permitieron que GOSH atraiga a nuevos actores desde la academia, y con ellos mayor legitimidad, a sumarse a un movimiento con predominio de participantes no académicos que plantean una relación con la producción de conocimiento bajo una lógica diferente, y que suele ser percibida como «hobbista», «de baja calidad», «demasiado politizada». En su descripción de modelos alternativos para la ciencia y las estrategias que académicos y activistas pueden emplear para llegar a estos modelos diferentes, (Martin 2006) identifica una estrategia en la que un empoderamiento de las bases transforma las condiciones de producción de la ciencia, porque cambia la forma de relacionarse entre personas, que a su vez cambian las condiciones de trabajo. ¿Qué cambios podría traer una aproximación a la producción del conocimiento científico basada en valores como

los que plantea GOSH, de colaboración en lugar de competencia, de valoración de distintos tipos de conocimiento? Algunos actores en GOSH ya experimentan con esto desde laboratorios académicos y dentro de universidades*, trabajando con metodologías feministas que instrumentan por ejemplo prácticas de publicación donde el orden de autoría es cuidadosamente construido, o donde se proponen modos de relacionarse con las áreas o sujetos en estudio basadas en la equidad.

La incorporación de nombres prestigiosos de la academia, o estrategias como haber realizado el primer encuentro global en el CERN, también funcionan como señales a quienes dudan en sumarse por la posible repercusión en su carrera científica. Por otro lado, además de aprovechar ventanas de oportunidad, GOSH en su rol de red transnacional también abre oportunidades para los actores y las iniciativas desarrollándose en el sur global, como sucede en otros movimientos de innovación de base (Smith et al 2017).

En el capítulo de marco teórico se presentaron algunas de las principales características que los nichos estratégicos, es decir aquellos con potencial para desatar cambios en el régimen, deberían poder cumplir (Hoogma et al. 2002; Seyfang y Smith 2007). Estas incluyen poder articular sus expectativas y visiones de una manera robusta y específica, construir redes amplias y profundas, contar con intermediarios clave para intercambiar lecciones y experimentar instancias de aprendizaje secundario en áreas clave, adaptando sus expectativas y acciones en consecuencia.

Como se detalla en la siguiente sección, la acción colectiva de GOSH está informada por una pluralidad de actores y marcos de pensamiento, de distinto grado de radicalidad y en constante negociación, coincidiendo con lo señalado por Smith et al (2017) en términos de nichos plurales y narrativas en disputa. Las estrategias del activismo le permiten articular, comunicar y capitalizar estas diferencias en términos de representatividad, abriendo múltiples espacios dentro de la academia tanto en el centro como la periferia, la ciencia comunitaria en particular en situaciones de conflicto socioambiental, la educación STEM fuera de ámbitos formales y el arte independiente. Esta articulación ha evolucionado desde los inicios de forma adaptativa, adquiriendo especificidad y sumando adeptos. GOSH construye redes y moviliza recursos a escala global, regional y local, donde participan actores de la academia, empresas y organizaciones de la sociedad civil; la construcción de redes amplias y desde donde movilizar recursos es una marca de los nichos estratégicos. Otro de los procesos significativos en nichos viables es el aprendizaje, y en particular el aprendizaje secundario: en GOSH, los

*Civic Laboratory for Environmental Action Research (CLEAR) is a feminist, anti-colonial lab specializing in monitoring plastic pollution.

participantes comparten aprendizajes tanto técnicos como organizativos a través de intermediarios clave, y su estrategia de deliberación permite al movimiento adaptar sus acciones, expectativas y estrategias en consecuencia, como detalla la próxima sección.

A partir de estos resultados, ¿podríamos pensar que GOSH, como nicho estratégico, puede promover cambios transformadores en el régimen patentado de hardware científico abierto? La respuesta y la forma que tomen estos cambios dependerá de cómo el nicho interactúe con la forma actual, patentada de producir herramientas científicas, tanto como de nuevas oportunidades o factores limitantes que puedan aparecer en el contexto, habilitando una diversidad de trayectorias (Geels y Schot 2007).

9.1.2 La diversidad como impulso para el movimiento

A partir de las entrevistas con quienes iniciaron el movimiento se puede observar que para el colectivo GOSH la diversidad es una estrategia de trabajo fundamental. El «giro a la diversidad» que sucedió una vez finalizada la primera reunión global en CERN, y los sucesivos encuentros en lugares claves de Latinoamérica y Asia, responden a la búsqueda de representatividad. A fin de generar un impacto mayor como colectivo, y así como quienes diseñan artefactos abiertos «salen a buscar» a sus usuarias, GOSH fue a buscar a quienes podrían sumarse al movimiento en otros lugares del mundo. En entrevista personal en 2019, uno de los fundadores comenta la lógica detrás de esta estrategia:

Es llevar la pregunta «¿qué es para vos el hardware científico abierto?» a diferentes lugares y culturas en el mundo y dejar que esa pregunta se responda de cualquier manera que se responda en ese lugar.

Por otro lado, la apertura a la diversidad no sólo geográfica sino de formación y objetivos de trabajo, por ejemplo a partir de intencionalmente incorporar activistas en los márgenes de la academia, no sólo suma representatividad sino que también aporta recursos en términos de habilidades organizativas necesarias para movilizar la acción colectiva.

Uno de los resultados más significativos de la observación participante en GOSH es que la estrategia de acción colectiva no se da en forma lineal sino en pulsos de apertura y convergencia. En determinados momentos se plantean discusiones que requieren de toma de decisiones, ya sea a partir de los encuentros o por requisitos

de los entes financiadores, como en el caso de la definición de una hoja de ruta. El planteo de la necesidad de decisión es seguido por un momento de apertura, donde se intenta que la diversidad más amplia de participantes brinde su perspectiva; luego se realiza un trabajo de elaboración sobre la información recibida y se decide qué rumbo tomar. Estas instancias de elaboración y síntesis son comunicadas en tiempo real, de forma transparente a través del foro comunitario. En el avance, la decisión «arrastra» al resto de los actores que dieron su opinión. El trabajo es intenso durante el período de elaboración, pero esporádico, descansando principalmente en quienes tienen habilidades y experiencia en facilitación. (Smith y STIRLING acstirling 2018) plantean que este tipo de prácticas deliberativas diversas se observan en los movimientos de innovación de base como respuesta a las limitaciones que enfrentan a la hora de diseminar su mensaje, sirviendo como fuente de legitimación y representatividad hacia dentro y fuera del colectivo.



Figura 9.1: La propulsión en dos etapas, una de las estrategias de movimiento más eficientes en el reino animal (*Aurelia aurita* sp)

Aunque este rumbo principal guía la acción colectiva, existen otros «centros» de toma de decisiones, autónomos, a veces regionales y a veces relacionados con redes preexistentes de trabajo por disciplina, que persiguen sus propias agendas y objetivos. Los logros de estos centros distribuidos también se considera que contribuyen al avance de GOSH, que los toma como propios; esto se observa en particular en las estrategias de comunicación.

Los eventos de GOSH funcionan como momentos de máxima apertura; con su agenda de desconferencia colaborativa, la redacción iterativa de los documentos estratégicos, la modalidad de participación esporádica. Todos los participantes identificaron este tipo de prácticas organizativas como el factor diferencial entre GOSH y otras comunidades en ciencia o tecnología. En particular, los actores académicos identificaron estas estrategias como el mayor aprendizaje que obtienen de GOSH, y que aplican en sus trabajos.

Coincidiendo con lo observado por (Smith et al 2017) para movimientos de innovación de base plurales, se puede observar que la diversidad en términos

de marcos conceptuales dentro del movimiento también funciona como recurso, ya que permite acomodar el mensaje de acuerdo a la audiencia, cambiando la «ventaja» del hardware científico abierto que se comunica según el contexto. En eventos académicos, las ventajas comunicadas están relacionadas a la eficiencia; en Latinoamérica la conversación toma un cariz más político, asociado al HCA como democratización y tecnología apropiada.

Finalmente, una de las ventajas que se observan como más importantes de la diversidad como estrategia en GOSH es que permite la construcción de proyectos «de impacto». Esto puede leerse en clave de producción de conocimiento socialmente útil (Bozeman y Sarewitz 2005; Sarewitz y Pielke 2007), donde GOSH facilita el surgimiento de interacciones productivas entre actores relevantes a un problema de conocimiento (Spaapen y Drooge 2011). A partir de los encuentros globales surgen colaboraciones tanto centro-periferia como regionales; uno de los ejemplos más visibles de colaboración transnacional entre miembros de GOSH es Open Flexure, otro ejemplo relevante son las colaboraciones en el campo de la biología sintética entre miembros de GOSH en Latinoamérica y en la red AfricaOSH. Estos avances son tomados por el colectivo que construye sus propios «casos de éxito» a partir de ellos.

9.1.3 Lo lúdico como denominador común

Para poder alcanzar sus objetivos GOSH construye un lenguaje común, una problematización política a partir de una práctica concreta que permite dialogar a actores muy diferentes. ¿Qué pueden tener en común una bióloga estudiando mosquitos en Cambridge con un activista haciendo análisis de suelos con comunidades campesinas en Argentina, o una trans-hacktivista viviendo en un squat europeo? Como parte de GOSH, todas ellas crean sus propias herramientas y consideran que las regulaciones de propiedad industrial, como las patentes, son un sinsentido que limitan su trabajo y restringen su creatividad.

En los eventos globales de GOSH, el ambiente es muy diferente al de una conferencia académica o de tecnología, o a una asamblea de un movimiento social. Se percibe inmediatamente que los participantes *se están divirtiendo*. La propuesta de desconferencia o agenda colaborativa de los eventos, el juntarse en grupo a cocinar, las presentaciones artísticas y el continuo desarrollo de talleres que emiten luces, sonidos e imágenes que parecen salidos de algún futuro cyberpunk: todo tiene una atmósfera carnavalesca donde cualquiera está invitado a participar, entrar y salir cuando quiera.

El utilizar el juego y la creatividad como estrategias de construcción de comunidad no es nuevo. Diversos autores (Bogad 2016; Shepard 2005) retoman la idea del carnaval (Bakhtin 1984) como una forma de construir acción colectiva, capaz de crear espacios abiertos desde donde emergen nuevas formas de relacionarse. Este es uno de los elementos más característicos de la cultura hacker, uno de los marcos conceptuales que informan la acción de GOSH (Himanen 2001). Otra de las ideas fuerza detrás del concepto de carnaval es el desdibujamiento de límites entre quien hace y quien observa, la alteración de las jerarquías. Y en definitiva, la idea principal detrás de GOSH es que quienes hoy observan también quieren hacer, quienes hoy sólo consumen también pueden aprender, construir herramientas y producir conocimiento de acuerdo a sus propios intereses. Weissman y Colledge (1990) describe al «juego serio» como una aproximación abierta a aprender, a la prueba y el error:

El «juego serio» tiene por objeto inspirar el deseo, las historias colectivas, la cohesión del grupo y la formación de la identidad—construir un movimiento que cuente con redes sociales más densas y sea más sostenible y adaptable en tiempos difíciles.

El juego serio forma parte de los marcos conceptuales de muchas de las iniciativas de educación que usan hardware abierto en sus experimentos, y que participan en GOSH. Implica además participar en el juego sin otro objeto que la curiosidad, sin esperar algo a cambio o considerarlo «productivo». La mayoría de los talleres en GOSH siguen estas ideas: demuestran principios de construcción o de uso de los diseños, comparten habilidades o pruebas de concepto que en general no incluiríamos en un CV.

Otra de las funciones importantes a nivel comunitario del juego serio es poder atraer y retener a actores que normalmente no participan de asambleas o sesiones de discusión. Varios entrevistados comentan cómo se consideran «buenos en la parte práctica» y «se aburren» en las discusiones sobre estrategia. La combinación de práctica y reflexión facilita que incluso los más reticentes participen con ideas, aunque entren y salgan del espacio esporádicamente, aportando desde otro lugar. La metodología en sí misma es una invitación a que más gente se pueda sumar a jugar/diseñar, desde artefactos hasta rumbos de acción colectiva.

Las sesiones de discusión, aunque tratan temas «serios» también proponen discusiones que parecen tener poca relación pero que tejen puntos en común (por ejemplo «*Visionary science speculative fiction*», una sesión en GOSH 2017). Esta aproximación creativa a la formación de identidad colectiva es muy relevante en un movimiento que inicialmente comprende desde dónde parte, pero no cuenta

con referencias sobre hacia dónde va. Poder imaginar colectivamente cómo se ve el futuro que propone el movimiento requiere de imaginación, pero también de sentirse habilitado a imaginar en conjunto, de lazos de pertenencia y camaradería. Estas estrategias le permiten al colectivo moverse desde la disputa concreta, casi limitante de las patentes hacia una propuesta de visiones de futuro en común, y que actores disímiles tomen como propias las experiencias de otros, replicando estos mensajes colectivos en sus propios espacios.

Hacia afuera, la estrategia lúdica permite construir una vía propositiva de acción en el corto y en el mediano plazo, que incorpora el mensaje y los valores importantes para la comunidad en la materialidad de los artefactos. Como menciona una de las organizadoras del proyecto Vuela en una entrevista en 2019, «*elegimos hacer drones porque son objetos deseables, caros, que no sabes cómo funcionan*». Se trata de un objeto costoso, que brilla, puede volar y enviar imágenes desde arriba, hecho con materiales locales y que cualquiera puede pilotear y reparar si es necesario. Es un mensaje potente que entra por los ojos, en un contexto predominantemente tecnocrático. Producir artefactos deseables, desde la creatividad y la curiosidad pero con una lógica diferente hace que el mensaje llegue a actores nuevos, que no suelen cuestionar lo social implícito en la tecnología.

9.1.4 Formas de ver el mundo en tensión

El análisis de marcos conceptuales que se presentó en el capítulo 6 permite entender qué ideas contribuyen en mayor y menor medida al discurso colectivo actual, y qué dinámicas y tensiones existen en esa interacción. Los principales marcos conceptuales en tensión dentro de GOSH se corresponden con una perspectiva más academicista y otra más radical de origen activista, relacionada a los movimientos de justicia ambiental, tecnología apropiada y justicia cognitiva. La pluralidad de marcos conceptuales es un elemento común a aquellos movimientos de innovación de base que contienen actores provenientes de muy diversos contextos y que tienen como objeto de disputa la infraestructura (Smith et al 2017).

La primera visión plantea el hardware científico abierto como una forma más eficiente de producir herramientas para hacer ciencia, y que además produce beneficios colaterales, como la disponibilidad de equipos más económicos accesibles para contextos de recursos escasos. Esta es actualmente la cara más visible del movimiento, como se evidencia en artículos publicados en revistas internacionales de alto impacto y análisis sobre estandarización de prácticas (Bonvoisin et al. 2020; Ravindran 2020). Por otro lado, el marco más radical presenta el hardware científico abierto como una oportunidad para que otras formas de conocimiento

puedan ser desarrolladas, cuestiona la asimetría de poder norte-sur en términos de producción de conocimiento y las concepciones colonialistas, patriarcales y racistas que vuelven a la academia poco representativa y alejada del resto de la sociedad.

Una de las lecciones aprendidas a partir del estudio de otros movimientos señala que los nichos más radicales deben demostrar beneficios más importantes para poder influir en el régimen (Smith et al 2017). Sin embargo, esto no se trata de un proceso estático: lo que es considerado radical y cuán importantes son sus beneficios cambia con el tiempo y con la aparición de tensiones en el régimen. En este sentido es relevante preguntarse ¿qué tensiones en el régimen pueden enmarcarse como oportunidades para las ideas más radicales dentro de GOSH? Algunos de los actores más visibles en el movimiento están planteando que el contexto de la pandemia mundial de COVID-19, en el que el modelo de producción patentado deja a los hospitales y trabajadores del mundo sin herramientas vitales, podría ser una tensión lo suficientemente fuerte como para abrir una nueva ventana de oportunidad.

Para comprender cómo estos marcos que difieren en términos de radicalidad y hoy existen en GOSH pueden originar tensiones, conviene analizar qué sucede en casos de contacto entre el nicho y las instituciones. En su estudio de la trayectoria del nicho de producción de alimentos orgánicos en el Reino Unido, (Smith 2006) arroja luz sobre la naturaleza dialéctica de las relaciones entre los nichos y el régimen. En esta situación las prácticas promovidas desde los nichos son apropiadas por el régimen de forma diferencial, originando cambios incrementales que fragmentan al nicho y abren nuevas configuraciones que albergan núcleos de innovación más radicales. Smith sugiere que el rol de las políticas debería ser el de alentar esta naturaleza dual de los nichos, tanto radical como reformadora.

¿Cómo afectaría un proceso de apropiación diferencial a GOSH como colectivo? Para imaginarlo no es necesario viajar demasiado hacia adelante en el tiempo; durante 2020 se sucedieron numerosas conversaciones sobre políticas e interacciones con las instituciones. En particular se publicaron recomendaciones a nivel nacional para el caso de Finlandia, donde figura uno de los miembros más visibles de la comunidad como co-autor (Heikkinen et al. 2020). Estas recomendaciones están contenidas en su totalidad en el marco academicista: la base del análisis son las eficiencias económicas y los potenciales beneficios de la innovación abierta. Menciona también que análisis de este tipo deberían poder generalizarse a países a igual nivel de desarrollo que Finlandia y a instituciones en países no desarrollados que puedan aprovechar estos beneficios. Las recomendaciones incluyen relevamiento de equipos estratégicos a nivel nacional, políticas que favorezcan las condiciones de mercado para la producción y consumo de hardware científico abierto en universidades e institutos de investigación, y mecanismos de financiamiento para la producción de

equipos estratégicos.

Se podría especular entonces que ante la interacción con el régimen, sean las prácticas del marco «académico» las primeras en incorporarse y generar tensión al interior de GOSH. Este es un escenario donde el hardware científico es producido por empresas que venden los equipos y publican los diseños en línea bajo licencias abiertas, y los beneficios empiezan a verse en términos de coordinación de los esfuerzos de investigación, capacidad de reparación y aceleración de la innovación. Sin embargo, si no se incorporan las prácticas o ideas «alternativas» del movimiento, es probable que aparezcan algunos problemas: sin esfuerzos para que los diseños abiertos sean accesibles en contextos diferentes, estos van a seguir siendo difíciles de reproducir en algunas partes del mundo. A medida que estos nuevos diseños abiertos se convierten en una norma de facto para la investigación, probablemente certificada, en los países con menos recursos los investigadores van a seguir dependiendo de los fabricantes, sólo que ahora son productores de hardware abierto. La documentación es pública, pero sigue siendo ilegible para los no expertos o quienes no hablan inglés, por lo que no se está produciendo verdadera inclusión.

En este escenario de prácticas apropiadas de forma diferencial GOSH comenzaría a fragmentarse como nicho, de acuerdo a las experiencias históricas de otros movimientos (Smith 2006). En nichos poco plurales existe el riesgo de desintegración; la presencia en GOSH de actores que encarnan las ideas más radicales dentro del colectivo abre la posibilidad de reconfiguración. El cambio tanto en el régimen como en el nicho abriría nuevos espacios y estrategias para perseguir los nuevos objetivos, más radicales pero que ahora pueden ser percibidos como «posibles».

La propuesta de imaginar posibles futuros cercanos para GOSH a partir de lecciones históricas tiene por objeto promover la reflexión sobre qué consecuencias podría acarrear la priorización de ciertas narrativas y estrategias sobre otras, y las nuevas configuraciones políticas que necesariamente surgirán en estos nuevos escenarios. Para cumplir con sus visiones de democratización, GOSH aprovecha la tensión entre ambos marcos conceptuales. La forma en que esta tensión evolucione dependerá, en gran medida, de cómo la institucionalidad interactúe con el colectivo, tema que se desarrolla en la próxima sección.

9.1.5 Trayectorias alternativas

El concepto de trayectorias alternativas permite especular sobre los diferentes futuros disponibles para las ideas y prácticas radicales que informan a GOSH como

movimiento. Tanto en términos discursivos como materiales, representa la huella dejada por los movimientos de innovación de base hacia formas de desarrollo más inclusivas y socialmente justas. Considerar caminos alternativos implica analizar las formas en que los movimientos interactúan con las prácticas establecidas en el régimen (Smith et al 2017), con el foco en aquellas prácticas y configuraciones que aportan «flexibilidad, diversidad, adaptación, aprendizaje y reflexión» (Leach, Scoones, y Stirling 2010).

En este sentido, la idea de construir herramientas científicas abiertas como una forma de producir ciencia y tecnología de manera más diversa, equitativa y democratizante del conocimiento representa un camino alternativo de desarrollo. Es una forma diferente de concebir la producción de conocimiento, enmarcada en la justicia cognitiva, las pedagogías críticas y una visión feminista interseccional. En términos materiales estas visiones alternativas se concretan en innumerables diseños, por nombrar algunos: el desarrollo de artefactos abiertos «frugales» hechos con materiales disponibles en casi cualquier lugar del mundo o a partir de elementos reutilizables, los métodos cromatográficos que permiten evaluar calidad de suelos con las comunidades campesinas, las herramientas para auto-análisis ginecológico desarrolladas por colectivos feministas, entre otras, habilitan de forma concreta esta nueva visión sobre la producción de conocimiento.

Existen dentro de GOSH ideas más «digeribles» que otras por parte del régimen actual. Una de las características que diferencian a GOSH de otros movimientos dentro de la ciencia abierta es que aunque la producción de equipos está concentrada, los potenciales intereses en contra de la apertura no son todavía tan visibles como en otros movimientos. A diferencia, por ejemplo, del caso del movimiento de acceso abierto y Elsevier, donde un mercado hiperconcentrado determina las normas implícitas y explícitas que evalúan la producción de conocimiento; en el hardware abierto son múltiples las compañías que utilizan el régimen de patentes e impiden la circulación de información sobre diseño, por lo que el mensaje es más difícil de transmitir. Por otro lado, existen cada vez más compañías produciendo hardware basadas en modelos de apertura (Joshua M. Pearce 2017). Aunque con sus particularidades, el ejemplo del CERN y su trabajo en el desarrollo de un ecosistema de medianas empresas de hardware abierto proporciona lecciones útiles para incentivar a más empresas a abrirse (van der Bij et al. 2012). Como se resume en el capítulo 2, múltiples trabajos abordan, cada vez más, el estudio de modelos de negocio viables para el hardware científico abierto.

Mirar a GOSH en términos de trayectorias alternativas puede contribuir a pensar en cómo las nuevas políticas de promoción del hardware científico abierto podrían actuar para *abrir* en lugar de clausurar vías alternativas de desarrollo. Una de las

9.2. PREGUNTA 2: MECANISMOS PARA INCORPORAR NUEVOS Y MÁS DIVERSOS ACTORES

formas podría ser a través de la inclusión de aquellos actores que encarnan las ideas más radicales dentro de las conversaciones que informan la redacción de políticas; pero también la reflexión sobre qué narrativas son reforzadas desde la política pública. Desde sus inicios, GOSH articula las tensiones entre estas visiones para poder moverse; cambiar esta estrategia para pasar a solo promover una narrativa de eficiencia sería un error; conduce a resultados muy parecidos a los que tenemos actualmente, solo que obtenidos más rápidamente y a menor costo. En este sentido resulta útil el análisis de (Albornoz et al. 2018) sobre las narrativas dominantes que se refuerzan desde la formulación de políticas de ciencia abierta, una versión simplificada y descontextualizada de los valores iniciales del movimiento.

La estrategia de articulación y diálogo que permite que GOSH exista debería poder informar a la política no sólo en términos de sus objetivos sino también de sus metodologías, si se pretenden obtener algunos de los beneficios más interesantes que promueve el colectivo en términos de democratización de la ciencia y la tecnología. Retomando las ideas propuestas por (Smith 2006), el rol de las políticas debería ser el de *abrir* la discusión para que las ideas de los actores marginales, por fuera de las instituciones, puedan tener un lugar en la mesa.

9.2 Pregunta 2: mecanismos para incorporar nuevos y más diversos actores

Esta sección discute, a partir de los resultados presentados en los estudios de caso y en el análisis intra- e inter-bloques, los modos de participación, la inclusión de nuevos actores y la diversidad en los procesos de producción de tecnología. A modo de síntesis, los resultados permiten comprender que más allá del contexto académico o comunitario, son los objetivos de los proyectos los que van a determinar la modalidad de la participación e inclusión de nuevos actores; que los espacios físicos influyen significativamente en la diversidad de expertise que se encuentra en los colaboradores y que las estrategias que suceden en espacios *offline* configuran las de los espacios *online*. También permiten observar que las estrategias, en todos los casos, incluyen la generación de instancias de diálogo que habilitan la formación de pares y la circulación de información entre las etapas de diseño-fabricación-uso, y que esto permite producir artefactos altamente contextualizados. Las próximas secciones desarrollan cada uno de estos aspectos, discutiendo en cada caso con la literatura que se considera relevante.

9.2.1 Objetivos que configuran modos de participación

El análisis comparativo entre casos del capítulo 8 muestra cómo el objetivo de cada proyecto guía la participación y sus estrategias, más allá del contexto académico o comunitario. Se observan dos grandes tendencias: proyectos con objetivos enfocados en el proceso de fabricación y proyectos con objetivos enfocados en el uso del producto. En este sentido se podrían pensar estas categorías como una ampliación de la «apertura de proceso» y «apertura de producto» que distinguen (Bonvoisin y Mies 2018) en su análisis de la documentación *online* de hardware abierto, aunque con algunas particularidades.

En el primer caso, que llamamos «de proceso», el objetivo es formativo, de inclusión; este tipo de proyectos se podría asemejar a lo que (Kera et al. 2019) llaman *little science* a partir de su estudio de experiencias con hardware científico abierto en el sudeste asiático. La narrativa es «cualquiera puede participar». El trabajo principal se realiza sobre la accesibilidad: la estrategia consiste en construir un lenguaje común que facilite la formación de pares, en simplificar procesos, a fin de que más gente y de diferentes espacios y formaciones se pueda sumar al proceso. Esto hace que las diferencias entre etapas de diseño se vuelvan más fluidas y permeables por parte de los colaboradores; la división del trabajo es casi imperceptible. Este es el caso de Vuela, donde «todos hacen todo», y como comenta uno de los organizadores en una entrevista en 2020, el producto en cuestión no es lo más relevante:

Una idea a la que llegamos de cuál sería el objetivo [es que] estaba no tan relacionado a los drones, porque terminaban siendo una excusa, sino que el objetivo era explorar cómo funciona o cómo no funciona un proyecto de hardware científico abierto.

En la mayoría de los proyectos que llamamos de apertura de «productos», los objetivos están justamente en el producto: probar una nueva hipótesis, hacer más eficiente un proceso de diagnóstico o poder contar con herramientas locales para mejorar la calidad de vida de una comunidad en particular. La diferencia en los objetivos genera diferencias en las estrategias, principalmente en términos de división del trabajo. Aquí, a diferencia de lo observado por (Kera et al. 2019), aunque el objetivo no está en la *little science*, los proyectos observados no necesariamente representan los valores, objetivos y metodologías de la *big science*.

Tanto en los proyectos más orientados hacia «procesos» como hacia «producto» se observa la estrategia centro-periferia que menciona Raasch (2011) para caracterizar compromisos disímiles de colaboración en desarrollos abiertos de

9.2. PREGUNTA 2: MECANISMOS PARA INCORPORAR NUEVOS Y MÁS DIVERSOS ACTORES

software y de hardware: existen colaboradores/fundadores que consensúan las decisiones de diseño y un conjunto de colaboradores más esporádicos que contribuyen de forma ocasional. Sin embargo se observan algunas diferencias: el «centro» o grupo organizador, en el caso de Vuela, aunque toma decisiones en momentos clave, tiende a abrir posibilidades ante las ideas de los colaboradores. En el segundo caso, orientado a producto, las decisiones del grupo organizador siempre tienden a la estabilización ya sea en forma de la elección de funciones a desarrollar, qué materiales conseguir o qué pruebas de calidad realizar. En estos casos los límites entre las etapas de desarrollo, fabricación y uso son más definidos: quienes participan en una etapa por lo general no participan de la otra.

En todos los casos las etapas de diseño se observan interconectadas a través de la generación de instancias de diálogo, que habilitan tanto la circulación de información como la formación de pares. En los proyectos «de proceso», estas instancias son un fin en sí mismas, se desarrollan por su valor intrínseco para la inclusión de nuevos actores. En los procesos «de producto», la inclusión de nuevos actores está dirigida a ocupar roles específicos: makerspaces o fablabs universitarios que suman su expertise de fabricación; investigadores, promotores de salud o mujeres de una comunidad rural que se suman porque son usuarias del desarrollo en cuestión; proveedores de hardware o profesionales que contribuyen desde su expertise de desarrollo básico. Esto abre un abanico de configuraciones posibles desde las cuales pensar qué nuevos actores podrían participar, y desde qué objetivos y formas de ver la tecnología y el conocimiento.

9.2.2 Espacios que configuran diversidades

En términos de diversidad de género, en los casos académicos no se observa participación significativa de mujeres ni personas no binarias en las etapas de prototipado o selección de prototipos. La desigual participación de mujeres en las ingenierías y en particular la física, donde se inserta Open Flexure, está documentada para instituciones del Reino Unido, donde no alcanza el 20% de representación (Draux et al. 2019). Por el contrario, siendo Perú el país de Latinoamérica con menor proporción de investigadoras mujeres en total (UNESCO y Schlegel 2015) la participación de mujeres es equitativa en las carreras de salud o la ingeniería biomédica, área donde trabaja Gorgas tracker (Quintero 2016; Rodriguez y Taborda 2012). En este sentido, un informe local reporta que las barreras que encuentran las investigadoras y docentes universitarias incluyen principalmente la reproducción de estereotipos y roles de género en el ámbito laboral, la segregación vertical que les impide llegar a la toma de decisiones y la dificultad de conciliar la familia con las exigencias de la docencia y la investigación (Alecchi et al. 2018).

En los casos comunitarios las mujeres ocupan roles críticos que aportan expertise contextual para la construcción del problema a solucionar o investigar. Se puede observar un proceso que (Kimura 2019), a partir del análisis de la ciencia ciudadana en Japón post Fukushima, describe como *gendered scientization*: la distribución asimétrica de oportunidades y desafíos para los no expertos en función de la división de tareas, estereotipos y discursos de género. Las formas que toma el proceso de *gendered scientization* son diferentes: mujeres que participan a través de su auto-identificación con los roles de cuidado; mujeres que participan en contextos de disputa para desterrar la imagen «irracional» que se le da a su activismo; pero también mujeres que participan gracias al discurso de «mujeres en ciencia» o «mujeres en STEM». En el caso de Vuela, el liderazgo de una de las vecinas de la asamblea comunitaria fue determinante para la definición del problema de investigación con la comunidad, que puede leerse en clave de «cuidados». Desde el rol de usuarias, las mujeres también realizaron aportes clave: son las mujeres de la comunidad indígena las que alertan sobre problemas de diseño que pueden afectar el «cuidado» del dispositivo Gorgas. Las microbiólogas de KossamTor detectaron la oportunidad de modificar la incubadora para producir yogur, en lugar de sólo venderla a las universidades como material de estudio; su principal motivación es la alimentación de los niños de la comunidad (nuevamente los cuidados); desde las redes sus imágenes se publican como ejemplos de «mujeres en ciencia».

En todos los casos se observa que los espacios físicos donde se desarrollan las actividades influyen significativamente sobre la diversidad en los proyectos, principalmente en términos de diversidad de formación de los participantes. Cuando las actividades se desarrollan en espacios extra-académicos la proporción de participantes sin educación formal aumenta, como se observa en Vuela, donde el centro vecinal atrae personas dentro de su red territorial o en KossamTor, donde el makerspace recibe a vecinas de una comunidad rural aledaña. En particular en el caso de Vuela, esta observación coincide con la revalorización de los espacios «subalternos» que se hace desde Design Justice, como aquellos espacios donde suceden las prácticas de diseño en los márgenes, donde no se esperaría (Costanza-Chock 2020).

Una de las formas en que los espacios comunitarios permiten aumentar la diversidad de participantes es habilitando la colaboración esporádica, más amable con los horarios laborales y las circunstancias de la vida de la mayoría de las personas que la rigidez de los espacios institucionales. En este sentido, (Strasser et al. 2018) plantean que discutir la «ciencia ciudadana» en términos de democratización implica necesariamente involucrar a personas con diversidad de grados y tipos de formación, un factor sub-estudiado. En el caso de Vuela las sesiones en la comunidad de Melipilla se realizaban los domingos; aunque algunos

9.2. PREGUNTA 2: MECANISMOS PARA INCORPORAR NUEVOS Y MÁS DIVERSOS ACTORES

vecinos estaban muy involucrados y asistían siempre, otros asistían los días que podían, o llegaban más tarde o se iban más temprano, pero participaban. Además del valor en sí de la participación del recién llegado, se disparaban procesos de formación de pares: otro participante lo ponía al día y trabajaba con él.

Sin embargo, contar con una audiencia más diversa no implica que haya necesariamente una mayor participación de los colaboradores en todas las etapas del proceso, ni que esto reporte menores beneficios directos para la comunidad. En el caso de KossamTor, las mujeres de la comunidad rural son claramente un grupo poco representado en tecnología y en condiciones vulnerables. La estrategia «de producto» del proyecto no las incluye durante todo el proceso de fabricación sino como usuarias activas, que asisten a instancias de capacitación en uso, ensamblado y reparaciones rápidas de las incubadoras. En este sentido se prioriza el beneficio directo que la comunidad puede obtener a partir de contar con un artefacto funcional, frente al potencial beneficio a largo plazo de la participación y construcción de capacidades de diseño. El sistema de prioridades toma mucho sentido en el contexto del problema urgente que quiere solucionar KossamTor: la seguridad alimentaria de las mujeres y sus familias. Esto coincide con el análisis de (Kimura y Kinchy 2016) sobre algunas experiencias participativas en casos de injusticia ambiental, donde la participación no fue permanente, pero redundó en beneficios directos para las comunidades afectadas.

Contrariamente a lo que se podría esperar, en los casos estudiados la complejidad de los artefactos no es un factor determinante de la diversidad de formación de los colaboradores; el factor más relevante en todos los casos es el espacio donde se desarrolla la actividad de fabricación. Vuela, el más diverso de los casos, propone la construcción comunitaria de artefactos complejos que involucran trabajos en electrónica, utilización de software y destreza para maniobrar el dron. Sin embargo esto no afecta la diversidad de colaboradores, que sí cae cuando las actividades se desarrollan en espacios académicos.

9.2.3 Conexiones entre espacios *offline* y *online*

Todos los casos de estudio cuentan con documentación disponible online sobre su fabricación y uso, pero difieren en su calidad. Para todos los grupos organizadores, documentar es parte de su identidad en términos de «abierto»; no cumplir con este requisito se considera vergonzoso: en todos los casos los participantes se excusan una y otra vez por la falta de tiempo para producir mejor documentación. Esto se condice con los numerosos intentos de estandarizar «buenas prácticas» y taxonomías disponibles (Gibb 2014a; Wagenknecht 2014) o la evaluación de los proyectos a

partir de su documentación (Bonvoisin y Mies 2018). Una buena documentación es la prueba de que el trabajo del grupo está alineado con la filosofía del código abierto, no sólo desde el discurso, también desde la práctica.

El análisis de casos permitió observar que aquellos proyectos que desarrollaron procesos de fabricación donde la distancia cultural o de formación entre los colaboradores es significativa, producen documentación extensa y de mejor calidad. Este es el caso de Vuela y de Open Flexure, con documentación en varios idiomas, formatos y plataformas. Para todos la tarea de documentar es vista como una carga, un trabajo increíblemente laborioso pero necesario para considerarse parte del movimiento. Si la motivación es baja en todos los casos, ¿por qué algunos grupos producen documentación de mayor calidad? Las diferencias que se puede observar entre estos casos y aquellos que cuentan con documentación escueta son principalmente dos: por un lado quienes documentan menos lo hacen al final, una vez que el prototipo funciona y se comienza a producir; por otro lado quienes documentan menos son aquellos grupos donde se observan más procesos de división de tareas por expertise que de formación de pares.

En los casos con buena documentación, los videos, las traducciones, las imágenes, son resultado de procesos de facilitación e inclusión que suceden en el espacio *offline* de los proyectos. No solo documentan el diseño final, muchas veces documentan procesos, decisiones que se toman sobre qué componente elegir o qué funcionalidad descartar. En el ejemplo de Vuela, que en su web haya un video introductorio en creole parece totalmente desproporcionado en términos de recursos disponibles e impacto. Pero ese video es el resultado de un proceso de facilitación: fue producido para los talleres por un colaborador, como una manera de facilitar la inclusión de vecinos de Melipilla que no hablan español. En el caso de Open Flexure, las imágenes de componentes, los videos de ensamblado del microscopio, son herramientas que se utilizan para facilitar la colaboración entre el grupo inglés y el grupo tanzano. El grueso del trabajo se realiza durante el proyecto, compartirlo después en una página web es la parte más sencilla.

Por otro lado, en estos casos quienes documentan no necesitaron imaginar a quién le están hablando: lo hacen a diario, el material es el resultado de la construcción de un idioma común entre actores muy diferentes. Por el contrario, aquellos proyectos donde los colaboradores se parecen más entre ellos tienen que hacer el esfuerzo de imaginar potenciales públicos, lo que suele derivar en interlocutores parecidos a ellos mismos y documentaciones más escuetas. La documentación se comparte con la «esperanza» de que alguien encuentre el proyecto interesante y desee replicarlo; pero ese colaborador potencial es otra caja negra: ¿Qué idioma habla, en qué parte del mundo está, con qué formación cuenta? En el caso de Gorgas, la documentación

9.2. PREGUNTA 2: MECANISMOS PARA INCORPORAR NUEVOS Y MÁS DIVERSOS ACTORES

está en inglés; en el caso de KossamTor la documentación está incompleta, y no capta algunas de las innovaciones fundamentales del proyecto. Entender a quién le habla la documentación también permite comprender las diferencias en los medios elegidos para documentar, y por qué las certificaciones que evalúan documentación son tan limitadas. Este tema se desarrolla más adelante en este capítulo.

El uso de licencias abiertas es otra de las principales buenas prácticas, o mensajes que se transmiten en el espacio *online*. De los cuatro proyectos en estudio solo uno utiliza licencias propias de hardware (CERN OHL), dos proyectos aplican licencias de software (GPL) y uno de contenido (CC-BY), todas son *copyleft* y todos los proyectos, incluso los comunitarios, usan licencias que permiten la comercialización, que es considerado una buena práctica por la Asociación de Hardware Abierto ((OSHWA) 2013a).

Más allá de la práctica de añadir el texto de una licencia al sitio web o repositorio del proyecto, salvo en el caso de Open Flexure, en ninguno de los casos la «cuestión de las licencias» aparece con peso propio. Por el contrario, uno de los participantes de KossamTor señala que el problema de la propiedad intelectual y las patentes es relevante en un contexto donde hay recursos, a ellos «no les pasa». Testimonios de los organizadores de Vuela, aunque en un sentido distinto, tienen puntos de encuentro: la apertura es aprovechada por las instituciones para «vender» un proyecto como socialmente útil, pero «a campo» no hay tensiones en ese sentido. Los participantes de Gorgas declaran no haber tenido ningún problema con las autoridades universitarias en términos de patentes o licencias abiertas, por el contrario lo ven como algo positivo, al igual que el ministerio de salud. Desde el otro lado del proceso, como consumidores de diseños abiertos, tampoco adquiere relevancia qué tipo de licencia usa un proyecto; se presta mucha más atención a qué tan bien documentado está. En Open Flexure, por el contrario, son explícitas las tensiones entre licencias abiertas que promueve el equipo de desarrollo y la necesidad de patentar por parte de la universidad, tema en constante negociación. El grado de madurez de los proyectos puede estar relacionado a este desinterés en los regímenes legales de patentes, aunque no se debería descartar el factor geográfico; Open Flexure es el único proyecto con desarrollo en el norte global.

En definitiva, en los proyectos de hardware abierto el espacio online se puede pensar como otro territorio más a ocupar con sus propias reglas y redes. Las modalidades de participación en este espacio son diferentes a los espacios offline: en primer lugar se espera que los proyectos comuniquen su existencia al mundo en forma de documentación y bajo alguna licencia abierta, y que a modo de respuesta, otros proyectos intenten replicarlos. Algunos proyectos además gestionan foros de discusión que intentan imitar una lógica de diálogo con colaboradores a

distancia, similar a los espacios offline pero asincrónica. Aquellos proyectos que logran construir una buena documentación, reflejo de su capacidad de diálogo entre saberes, capitalizan el esfuerzo con la llegada de nuevos colaboradores, generalmente altamente especializados, que permiten mejorar aspectos técnicos de los proyectos o que desarrollan «forks» en sus propios contextos.

9.2.4 Del diálogo a los artefactos

Independientemente del modo de participación o la diversidad de los proyectos, el desarrollo y fabricación de herramientas científicas abiertas se hace a través de estrategias colaborativas de trabajo iterativo, modular y orientado a la usuaria, que facilitan la circulación de información entre actores. Esto resulta en artefactos que se ajustan a las necesidades de quienes usan y fabrican los artefactos localmente. ¿Pero cómo estas estrategias se materializan en mejores artefactos?

La metodología iterativa de fabricación implica que quienes desarrollan pueden producir y poner a prueba conceptos en forma de prototipos, en ciclos cortos de tiempo y a bajo costo. Quizás el exponente más claro de esta observación sea Gorgas, que puso a prueba una hipótesis en un contexto adverso en menos de un año, de forma exitosa y con un presupuesto muchas veces menor que el de otros proyectos de investigación en malaria.

Esto se combina con el diseño modular de los artefactos, una práctica que subdivide las funciones del diseño en partes más pequeñas o módulos que pueden ser reemplazados, modificados o eliminados de forma independiente, sin afectar el funcionamiento general del artefacto. El diseño modular es un estándar aceptado en el hardware abierto: en Vuela se ve claramente en la mejora «por partes» del drone; en Open Flexure la modularidad permite a los colaboradores armar versiones para usos específicos (como la fluorescencia), en KossamTor la modularidad permitió agregar el control de pH sin alterar el de temperatura.

Finalmente, quizás el factor más relevante sea que todo el proceso de diseño se orienta a la usuaria sin necesidad de imaginarlo, saliendo a su encuentro. La idea de partir desde la usuaria para diseñar está presente en muchas corrientes a lo largo de la historia; por ejemplo es uno de los preceptos del movimiento de tecnología apropiada (Fressoli 2017). En Gorgas, uno de los investigadores menciona cómo las modificaciones más sutiles que realizaron vinieron de la comunidad indígena, y fueron también las que mayor impacto provocaron.

El diálogo entre desarrolladores y fabricantes se hace concreto, por ejemplo, en

9.3. PREGUNTA 3: CONSTRUCCIÓN DE CAPACIDADES Y UTILIDAD DE LA PRODUCCIÓN

listas de materiales y componentes que son conseguibles a nivel local, en adaptación de las funcionalidades a las capacidades de fabricación disponibles localmente, en la formación de pares para incrementar y poner a punto nuevas capacidades de fabricación local. En el segundo caso, el diálogo entre fabricantes y usuarias se materializa en la adaptación de las interfaces según las características particulares de quien las usa, en la adaptación de los materiales a partir de las pruebas «a campo». De forma indirecta a través de los fabricantes, las usuarias influyen en el desarrollo por ejemplo a partir de sugerir nuevas funcionalidades que difieren significativamente de las originales pero responden a sus propias necesidades.

Como el diálogo no es estático sino que evoluciona y se mantiene a través del tiempo, las tecnologías abiertas producto de estas interacciones nunca llegan definitivamente a la clausura (Bijker y Pinch 1987). Existen en cambio versiones diferentes, que conviven y salen a la luz de acuerdo a las prioridades y necesidades del momento. Quizás uno de los ejemplos más ilustrativos sea Open Flexure, que por su grado de madurez podría pensarse como más cerca de la clausura. Cuando se le pregunta a uno de los desarrolladores sobre el diseño final del microscopio, su respuesta es repreguntar: «*¿Microscopio para qué cosa en particular? Tenemos doscientas versiones diferentes*». Un microscopio que se usa para fines educativos, otro para investigación clínica, un diseño que funciona bien en Inglaterra, otro que está adaptado al calor y la humedad de Dar es-Salaam, uno con interfaz gráfica, otro que se maneja por línea de comandos. A cada configuración de contexto, usuarias y problemas a resolver, su diseño particular.

A modo de síntesis, las «hipótesis» que los desarrolladores construyen de forma modular se materializan en prototipos que se prueban con las usuarias en ciclos iterativos, que evolucionan u originan nuevos diseños con el correr del tiempo; el uso de licencias abiertas garantiza que la información fluya a través de las etapas sin fricciones.

9.3 Pregunta 3: construcción de capacidades y utilidad de la producción

A partir del análisis de los casos, esta sección discute de qué forma la experiencia de los proyectos GOSH promueve que los participantes construyan capacidades, con énfasis en la producción de conocimiento. A modo de síntesis, se presenta cómo la producción y uso de herramientas abiertas permite a jóvenes investigadores y estudiantes sortear rigideces institucionales a través del desarrollo de pruebas de concepto con bajo riesgo; cómo en la academia el hardware científico abierto tiende

a profesionalizar la producción abriendo nuevos modelos de negocio con circuitos cortos de comercialización; cómo los proyectos ganan autonomía en términos de diseños producidos con materiales locales, reparables y sostenibles.

La sección continúa con la descripción de cómo los roles híbridos académico-activistas facilitan el diálogo entre actores más o menos diversos en los proyectos a través de procesos de formación de pares, y que esa capacidad de diálogo permite a los casos producir conocimiento y tecnología socialmente útil, brindando contexto a los problemas de conocimiento y tecnología. Finalmente se introduce la discusión sobre la construcción de criterios de éxito y fracaso hacia dentro del movimiento, describiendo cómo lentes diferentes permiten observar beneficios en proyectos que se consideran poco exitosos. Esto refuerza la idea de que los modelos de participación no son mejores o peores, sino que aportan beneficios diferenciales tanto en términos de su naturaleza, de a quiénes benefician y de la escala de tiempo en la que suceden, y que ambos juegan roles necesarios para avanzar la acción colectiva.

9.3.1 Abriendo espacios para nuevas ideas

En ambos proyectos académicos se pudo observar que el uso de hardware científico abierto permitió a los investigadores navegar exitosamente obstáculos institucionales para el desarrollo de nuevas hipótesis o metodologías. En el caso de Open Flexure, la aplicación de licencias abiertas de forma progresiva a cada módulo del artefacto permitió evitar el patentamiento inmediato impuesto desde la universidad, facilitando la colaboración con Tanzania. En el caso de Gorgas, los investigadores consiguieron generar métodos y datos útiles para la política pública a partir de poner a prueba hipótesis y metodologías que habían recibido muy poco apoyo concreto desde la universidad. Estos casos ilustran dos de los modos en los cuales la «política del conocimiento» funciona dentro de la academia: la creciente presión hacia la comercialización del conocimiento (Frickel y Moore 2006) y el rol de la internacionalización de incentivos en la priorización de líneas de investigación (Vessuri, Guédon, y Cetto 2014). En el primer caso, un patentamiento inmediato hubiera impedido que el makerspace en Tanzania desarrolle sus propias versiones del microscopio a bajo costo. En el segundo caso, uno de los investigadores que inició Gorgas comenta en una entrevista en 2020 cómo los mecanismos institucionales limitan algunos temas en función del financiamiento internacional, por ejemplo aunque la prevalencia de Malaria en Perú es alta, no lo es tanto como en países africanos, y esto volvía a Gorgas poco atractivo para la universidad: “*era el combo perfecto como para archivar el proyecto [...] una persona que recién está empezando su carrera, un tema relativamente complicado de hacer, un país donde no es tan atractivo hacerlo*”.

9.3. PREGUNTA 3: CONSTRUCCIÓN DE CAPACIDADES Y UTILIDAD DE LA PRODUCCIÓN

En ambos proyectos, quienes se encuentran al inicio del proceso son estudiantes doctorales, como en el caso de Gorgas, o jóvenes investigadores, como en el caso de Open Flexure; a partir del impacto que generaron sus proyectos lograron establecer sus propios laboratorios dentro de la universidad. En el caso de Gorgas, el artefacto ya sirvió de base para el trabajo de estudiantes de grado y de posgrado que amplían las funcionalidades para probar nuevas hipótesis. Estas observaciones muestran que el desarrollo de hardware abierto podría constituir una alternativa para la introducción de innovaciones disruptivas, en lugar de las incrementales favorecidas por la estructura jerárquica académica y su rigidez (Weiler 2011). La evolución de la carrera académica de los participantes se corresponde además con los beneficios que (McKiernan et al. 2016) observan en las carreras de jóvenes investigadores que implementan prácticas de ciencia abierta.

9.3.1.1 Nuevos modelos de negocio

Uno de los rasgos más salientes en los discursos de los participantes de proyectos académicos es el intento de demostrar que el hardware científico abierto es *de calidad*. Esta discusión es reflejo de las conversaciones que suceden hacia el interior del movimiento global y que indican una tendencia creciente hacia la estandarización de prácticas (Bonvoisin et al. 2020). Los participantes académicos en el análisis del colectivo muestran cómo en la academia se intenta desterrar la narrativa de que, como en general el hardware científico abierto es más económico y las usuarias intervienen en su producción, es de peor calidad. Esta visión proviene principalmente de su asociación con el movimiento «hágalo usted mismo», de carácter hobbista; la comunidad académica interpreta este «prejuicio» como uno de los obstáculos para la adopción generalizada.

Las estrategias de los proyectos en este sentido varían. Por un lado se encuentran estrategias de validación: incluso cuando los proyectos son relevantes en el ámbito local, en términos de prestigio y carrera para los investigadores es muy importante poder publicar tanto los diseños como los resultados en revistas internacionales de alto impacto. En el caso de Gorgas, la publicación en revistas especializadas en epidemiología reveló que para los revisores los resultados son relevantes pero la metodología no; los investigadores tuvieron que insistir en lo novedoso de lo metodológico para el contexto local para que finalmente fuera publicado. Esto puede verse como un ejemplo de la negociación entre investigadores de la periferia y las agendas de revistas internacionales que no necesariamente están alineadas (Kreimer 2006).

Otra de las estrategias está orientada a profesionalizar las etapas de fabricación,

9.3. PREGUNTA 3: CONSTRUCCIÓN DE CAPACIDADES Y UTILIDAD DE LA PRODUCCIÓN

observable más claramente en proyectos maduros como Open Flexure pero también a modo de indicio en Gorgas. Una de las motivaciones de los investigadores ingleses para asociarse con el makerspace, fabricante en Tanzania, fue el reconocimiento de que quieren seguir investigando y no dedicar tanto tiempo al trabajo de fabricación y atención a las usuarias; que su expertise no es de fabricación y que es preferible que lo haga una compañía dedicada exclusivamente a esto. En esta línea, Open Flexure actualmente trabaja con el makerspace en el desarrollo de tests de calidad que permitan al fabricante asegurar la funcionalidad de los artefactos. Esta lógica se observa incipiente en Gorgas, que aunque se implementó en fase piloto ya demostró que la producción es un desafío para los investigadores, como comenta uno de ellos en una entrevista en 2020:

no solamente hubo un proceso de armado, programación, testeo y evaluación de todos los dispositivos [...] que de nuevo, no es lo mismo probar diez que probar setenta y que funcionen todos bien, sino que también teníamos que soldar y asegurarnos de que la soldadura esté correctamente para no generar algún tipo de corte o mal contacto [...] es un trabajo adicional, obviamente de todos los recursos humanos que tienen a campo, que son clave para poder realizar esto

Ambos proyectos académicos mencionan, además, que uno de los obstáculos principales a la colaboración entre los equipos de desarrollo y fabricación, y entre fabricantes, es la falta de interoperabilidad del software necesario para diseñar hardware. Este punto se identifica como desafío también en la discusión global (Bonvoisin et al. 2020).

La tendencia a colaborar con una compañía para la fabricación es observable en otros proyectos de hardware científico abierto en la academia, exitosos en términos de adopción (Parker y Novak 2020b). (Hill et al. 2019) desarrollaron «Audiomoth», un dispositivo que permite grabar sonidos en frecuencias tanto audibles como no audibles en ambientes naturales, que es utilizado principalmente en biología de la conservación. El diseño llamó la atención de personas fuera del equipo de investigación original, que conformaron una compañía para producirlo manteniendo la apertura de los diseños y mejorando el proceso de fabricación. Por cada dispositivo vendido el equipo desarrollador obtiene un 10% de comisión. Las usuarias obtienen un producto de calidad y la garantía de que funciona por 70 dólares (versus 5000 dólares de la alternativa convencional); si desean reducir más los costos las usuarias pueden utilizar la documentación para fabricarlos o adaptarlos a su contexto. Los costos tan bajos hacen que emerjan usuarias en nuevos campos de uso antes impensados, como los equipos de investigación que

9.3. PREGUNTA 3: CONSTRUCCIÓN DE CAPACIDADES Y UTILIDAD DE LA PRODUCCIÓN

usan Audiomoth para la evaluación de la contaminación acústica inaudible en ciudades. Parker y Novak (2020)(Parker y Novak 2020b) concluyen que lo que permite a Audiomoth bajar los costos es la multiplicidad de compañías pequeñas que lo producen a bajos volúmenes. Este modelo de negocio, que es el que se busca implementar en Open Flexure, cuenta con ejemplos locales y regionales de aplicación: uno de ellos es la compañía TECSCI*, spin-off del Instituto de Nanosistemas de la Universidad Nacional de San Martín (Argentina); otro ejemplo se puede encontrar en Scintia†, una startup mexicana que produce y comercializa herramientas para biología sintética.

9.3.2 Autonomía colaborativa

Una de las premisas principales que articulan todos los proyectos es la de ser capaces de producir los artefactos a partir de materiales conseguibles localmente. Este objetivo es promovido desde el movimiento global (Chagas 2018) y está también presente en las buenas prácticas de la comunidad más amplia de hardware abierto ((OSHWA) 2013a). En cuanto a materiales de construcción, los proyectos académicos recurrieron a la impresión 3D mientras que los comunitarios utilizaron piezas de madera, obtenidas con cortadora láser. Esto no resulta llamativo, ya que pese a la mayor difusión de técnicas de fabricación aditiva en los últimos años, para poder operar eficientemente una impresora 3D aún es necesario atravesar una curva de aprendizaje significativa (Woodson, Alcantara, y do Nascimento 2019). El resto de los componentes no electrónicos seleccionados se pueden conseguir en ferreterías o negocios locales.

Todos los proyectos fueron capaces de reparar los artefactos en caso de mal funcionamiento, o en el extremo caso de Vuela, cuando los participantes estrellaron los drones por accidente. La capacidad de reparar fue mencionada como vital en todos los casos para garantizar el funcionamiento de los proyectos. En Gorgas, la capacidad de reparar permite reemplazar dispositivos con mal funcionamiento sin tener intervalos con pérdida de datos. En Open Flexure, las usuarias del Ifakara Health Institute son capacitadas en la reparación básica de los microscopios, y si las fallas son más complejas, los equipos se envían a STICLab para su revisión. En un sentido más amplio, el «derecho a reparar» (Svensson et al. 2018) está siendo activamente promovido desde distintas organizaciones de la sociedad civil, principalmente en Europa y Estados Unidos, en relación a la obsolescencia programada de los objetos de consumo. Cafés de reparación, hacklabs, makerspaces suelen contar con instancias de formación de pares para reparar tecnología. Más

*<https://tecsci.com.ar>

†<https://www.scintia.com/scintia-en-el-lab>

9.3. PREGUNTA 3: CONSTRUCCIÓN DE CAPACIDADES Y UTILIDAD DE LA PRODUCCIÓN

cerca del hardware científico abierto, la pandemia de COVID-19 impulsó más que nunca la discusión sobre el derecho a reparar, con el caso paradigmático de los hospitales que no pueden reparar respiradores protegidos por patentes*.

La reparación sin embargo se encuentra con algunas limitantes cuando se enfrenta a los componentes electrónicos. En todos los casos estudiados la lista de materiales incluye sensores, algunos producidos localmente, y microcontroladores importados pero conseguibles a costos razonables, ya sea producidos en China o en Europa/Estados Unidos. Uno de los problemas reportados en los proyectos que dependen de materiales importados desde China es la alta tasa de fallas en los componentes electrónicos, que pueden poner en jaque un proyecto. Una vía interesante e inexplorada en este sentido es la utilización de tarjetas producidas localmente, como las producidas por el proyecto argentino CIAA en sus múltiples variantes (Guido y Versino 2016).

Este problema trae a colación la discusión ya histórica de cuán abierto puede ser un desarrollo de hardware, si la fabricación de microcontroladores es cerrada. En este sentido la comunidad tomó una posición pragmática; en la actualidad está ampliamente aceptado que al menos por ahora, los microprocesadores seguirán siendo cerrados y su producción centralizada ((OSHWA 2010; Richard M. Stallman 2015); los diseños sólo pueden especificar qué tarjeta usan. En el contexto de la guerra comercial entre Estados Unidos y China, y la concentración cada vez mayor de la producción de microchips, uno de los actores que toma relevancia es la fundación sin fines de lucro RISC-V Internacional, creada en 2015 en Estados Unidos y actualmente con sede en Suiza. La fundación establece estándares abiertos para la fabricación de microchips sin ser propietaria de los derechos, pero ejerciendo control sobre el uso de la marca, similar al caso de la tecnología Wi-Fi. Más de 300 compañías alrededor del mundo son miembros de la Fundación, teniendo capacidad de voto sobre el diseño. RISC-V, originalmente un spin-off de UC Berkeley, recibió financiamiento por parte del Pentágono, y recientemente movió su sede a Europa frente a presiones del gobierno estadounidense para que, según su CEO Calista Redmond «*universidades, gobiernos y compañías fuera de los Estados Unidos también puedan contribuir al desarrollo de esta tecnología*». En conversaciones con miembros de la comunidad global en Europa, no son pocos quienes ven con esperanza la evolución del proyecto RISC-V para el futuro del hardware científico, mencionando como ejemplo las iniciativas públicas para desarrollar chips «*made in Europe*» basados en RISC-v[†], y cómo esto habilitaría mayores grados de autonomía para la producción de conocimiento.

*<https://www.popularmechanics.com/science/health/a32144222/hospitals-ventilators-right-repair-covid-19/>

†<https://www.european-processor-initiative.eu/>

9.3. PREGUNTA 3: CONSTRUCCIÓN DE CAPACIDADES Y UTILIDAD DE LA PRODUCCIÓN

Más allá de las especificidades del contexto actual, las ideas de la autonomía en clave colaborativa, capacidad de reparación y uso de materiales locales que plantean los proyectos en estudio son cercanas a conceptos relevantes en el ámbito latinoamericano. Por un lado, resuenan con los principios del movimiento de tecnología apropiada en Latinoamérica durante los años '80 (Fressoli 2017) y más recientemente, con las ideas de «diseño autónomo» que plantea Arturo Escobar (Escobar 2016).

9.3.3 Un idioma común para la colaboración

Como se menciona en secciones anteriores, en todos los casos los proyectos son iniciados o co-organizados por perfiles híbridos, un poco académicos, un poco activistas; algunos más dentro de un campo que del otro. Todos forman parte de la red de GOSH. En el caso de Open Flexure y Gorgas, estos roles están ocupados por personas con formación en física e ingeniería, con un activismo que toma forma a partir de su contacto con GOSH. En Vuela y KossamTor quienes impulsan el diálogo son personas con formación en ciencias sociales e ingeniería agronómica, con mayor trayectoria en trabajo comunitario. En particular en los casos comunitarios, la presencia de estos roles coincide con lo observado por Ottinger (2010) y (Wylie et al. 2014) sobre las interfaces que permiten el diálogo entre comunidades y conocimiento experto en ciencia comunitaria o ciudadana.

La característica principal de estos roles es que pueden dominar tanto el lenguaje técnico como el lenguaje de los no expertos, funcionando como puente. El tipo de diálogo que facilitan cambia de acuerdo al objetivo del proyecto: aquellos proyectos «de producto» generan diálogos de tipo interdisciplinario; Vuela además genera diálogos de tipo epistemológico, con personas que no están dentro de la academia. Se podría decir que estos roles poseen el tipo de expertise que Collins y Evans (2002) denominan «de interacción», conectando campos de conocimiento codificado y no codificado.

Más allá de contar con conocimiento específico en un área, estos perfiles cuentan con una imagen más general de cómo funciona (o cómo debería funcionar) el proceso de desarrollo colaborativo, transmitiendo estas ideas al resto del equipo. En todos los casos los participantes declaran haber aprendido o mejorado su conocimiento sobre qué se necesita y cómo desarrollar este tipo de proyectos; este «meta-aprendizaje» sobre la gestión les permite, en todos los casos, decir que se sienten capaces de emprender nuevos proyectos. Más allá de lo individual, se puede pensar estos aprendizajes en clave colectiva, como aquellos necesarios para avanzar las actividades de innovación dentro del nicho (Smith et al 2017).

El aporte más relevante de estos perfiles híbridos se observa en términos de construcción de un lenguaje común, a través de facilitar procesos de formación de pares. En Gorgas, los investigadores comentan que el «alma de maestro» de uno de los ingenieros los hacía sentir cómodos para preguntar sobre metodologías de fabricación digital que desconocían por completo. En KossamTor, uno de los organizadores del makerspace cuenta como «*facilito que todos sepan de todo para integrarse y poder explicar qué hace el proyecto*». En Vuela, antes de cada sesión los organizadores grababan videos de sí mismos armando los artefactos, que después miraban con los participantes e intentaban, entre todos, reproducir.

9.3.4 Producción de conocimiento y tecnologías útiles

En todos los casos, quienes iniciaron los proyectos lo hicieron bajo la premisa de producir conocimiento o tecnología socialmente útil. Los participantes exponen las motivaciones para iniciar los proyectos en términos de «impacto social», «utilizable localmente», «útil a la comunidad». Las temáticas abordadas reflejan esta preocupación: dos de los proyectos estudian cómo diagnosticar mejor la malaria, otro trabaja con problemas de seguridad alimentaria, otro con usos del territorio. Que todos busquen la utilidad hace pensar que perciben a la producción de conocimiento como, en general, inútil o de bajo impacto para resolver los problemas de la periferia; como efectivamente lo enuncian. Esto resuena con las ideas de producción útil de conocimiento, desde el pensamiento latinoamericano (Varsavsky 1969) hasta la actualidad (Sarewitz y Pielke 2007; Schot y Steinmueller 2016).

Los casos académicos tienden a desarrollar nuevas ideas, mientras que los casos comunitarios trabajan en adaptar diseños probados como útiles en otros contextos. Sin embargo, en todos los casos, el diálogo entre las diferentes etapas de diseño y producción de conocimiento fue la estrategia omnipresente. La interacción permitió a los diferentes casos ganar valiosa información «de contexto» con la que no contaban inicialmente. Gorgas, por ejemplo, pudo modificar sus interfaces para que sean útiles a los trabajadores a campo; Open Flexure modificó los materiales de construcción para que toleren el clima de Tanzania. KossamTor decidió incorporar una funcionalidad nueva que permita contar con equipos más útiles; Vuela mejoró el diseño del dron de tal manera que fuera más sencillo de manejar para quienes no tienen entrenamiento. En este sentido, en términos de Design Justice, a partir del diálogo todos los proyectos lograron construir tecnologías más «justas» que las originales (Costanza-Chock 2020).

Más allá de las modificaciones de los artefactos, el impacto más relevante que

9.3. PREGUNTA 3: CONSTRUCCIÓN DE CAPACIDADES Y UTILIDAD DE LA PRODUCCIÓN

se observa en todos los proyectos es la construcción de problemas de conocimiento que reflejan más fielmente los problemas sociales que se pretenden abordar. A partir del trabajo con las comunidades indígenas, los investigadores en Gorgas pudieron comprender mejor la dinámica de la movilidad en la comunidad, y cómo esto puede influenciar el contagio de la malaria; una próxima iteración instalará monitores en los botes que utilizan los vecinos para moverse, por sugerencia de los mismos vecinos. Los resultados, además, se incorporaron como eje de análisis en el Plan Malaria Cero que lleva adelante el Ministerio de Salud peruano, con quien ahora tienen interlocución. Quienes forman parte de Open Flexure, a partir de interactuar con el Ifakara Health Institute, comprendieron que el problema principal más allá de la falta de equipamiento, es la falta de personal técnico capacitado para diagnosticar malaria. Técnicos del Ifakara Health Institute se encuentran trabajando con el equipo de desarrollo sobre algoritmos que permitan automatizar tareas rutinarias y liberar tiempo de los técnicos.

En el caso de Vuela, el trabajo sistemático sobre el artefacto y el contacto con los investigadores visitantes permitieron que la comunidad construya un problema de conocimiento a partir de una situación de riesgo que los preocupa y por la cual vienen reclamando sin éxito, como es la actividad de la cantera ilegal cerca de sus casas. El proyecto permitió que los vecinos comprendieran que pueden construir un drone que pueden utilizar para su propio beneficio. En una problemática diferente, la interacción entre ingenieros del makerspace en KossamTor y las microbiólogas permitió que el proyecto original se oriente a la producción de alimento para el uso de las mujeres de la comunidad vecina dándoles la oportunidad de contar con un ingreso; más allá de vender la incubadora a las universidades.

Al mirar los casos en su totalidad, una de las observaciones que salta a la vista es que el desarrollo de herramientas científicas abiertas promueve la construcción de capacidades para participar del diseño y fabricación de tecnología; sin embargo no necesariamente construye capacidades para la producción de conocimiento científico. ¿Se produce conocimiento científico cuando una comunidad plantea un problema social en términos de «proyecto de investigación» comunitario? ¿Qué conocimiento se produce en la adaptación de una tecnología relativamente simple a la necesidad de una comunidad local por parte de otros miembros de la comunidad? La definición de conocimiento restringida a lo «científico» resulta limitante. Quizás convenga, como plantean (Strasser et al. 2018) tomar los aportes de la participación en términos de la definición amplia de «alfabetización científica»: aumentar la comprensión de los no-científicos acerca de cómo funciona la ciencia. Y en la otra dirección: tomar los aportes de los no-científicos para aumentar la comprensión de otras formas de conocimiento y lenguajes, hacia dentro de de la academia.

Todos los casos muestran ejemplos de lo que (Nowotny 2003) llaman ciencia y tecnología robustos: altamente contextualizados, validados por actores para los cuales la problemática es relevante. Las estrategias de diálogo puestas en marcha pueden leerse en clave de lo que Spaapen y Drooge (2011) llaman «interacciones productivas», acercando la agenda científica y tecnológica a las necesidades del contexto local a través de contactos directos e indirectos entre actores relevantes. Aumentar la diversidad de quienes interactúan en la producción de ciencia y tecnología se vuelve, más allá de una buena intención, una estrategia efectiva que produce mejor conocimiento y mejor tecnología.

9.3.5 De-construcción de criterios de éxito

Una de las observaciones más peculiares a partir del estudio de casos surge alrededor de los criterios de éxito en este tipo de proyectos. Fue sorprendente escuchar a una de las organizadoras de Vuela calificar el proyecto, en su tramo comunitario, como un «fracaso» ya que la comunidad de Melipilla no pudo utilizar la versión más reciente del dron, que les permitiría finalmente monitorear la actividad de la cantera. El fin del financiamiento que permitió las actividades en Melipilla significó para Vuela tener que salir a buscar nuevas fuentes de recursos, encontrando una posibilidad en la construcción de drones para investigación en agricultura, en el marco institucional. Las actividades siguieron pero en ámbitos académicos, dentro de los institutos de tecnología agropecuaria de distintos países latinoamericanos agrupados en el PROCISUR. El modelo de dron al que se llegó en Melipilla fue retomado en estos talleres donde se logró mejorar la calidad de la toma de imágenes, la estabilidad y maniobrabilidad; transformándolo en un instrumento apto para la investigación denominado. Tras el desarrollo de los talleres, los investigadores de siete «INTAs» latinoamericanos cuentan con tecnologías autónomas para investigar cultivos a gran escala; el diseño sigue disponible bajo licencias abiertas y puede encontrarse en vuela.cc.

Vuela es el único de los proyectos que se orienta a proceso en lugar de a producto. Es decir, su foco, al menos durante la etapa comunitaria en Melipilla, estuvo en que más gente participe del proceso de fabricación del dron, que en lograr fabricar un dron. Como menciona uno de los participantes, «*podríamos haber aprendido a fabricarlo entre cuatro en una casa, pero no era la idea*». Los proyectos orientados «a producto» identificaron la sostenibilidad como parte de los objetivos desde un principio, lo que derivó en la implementación de circuitos de comercialización de los desarrollos tecnológicos o de visibilización del impacto del conocimiento producido, que les permiten sostener sus iniciativas en la actualidad. Vuela no planteó esa posibilidad en un comienzo, y además se enfrentó con las desigualdades

9.3. PREGUNTA 3: CONSTRUCCIÓN DE CAPACIDADES Y UTILIDAD DE LA PRODUCCIÓN

estructurales de un contexto al margen de la producción de conocimiento formal: falta de infraestructura, personas que no tienen recursos para movilizarse hasta los talleres, personas que no tienen tiempo o su tiempo es escaso para actividades «extra» y no pueden darse el lujo del voluntariado. En este sentido Vuela se enfrentó al problema que enfrentan la mayoría de los proyectos de hardware abierto para ciencia, que es cómo garantizar la sostenibilidad. El tema surge sistemáticamente en reuniones de la comunidad tanto académicas como comunitarias, y existen cada vez más publicaciones que discuten modelos de negocio y sostenibilidad de las iniciativas (Li, Seering, y Wallace 2018; Joshua M. Pearce 2017).

Sin embargo, dependiendo del lente que se utilice es posible ver que los aportes del proyecto no son en ningún sentido escasos. Vuela construye otras cosas, en plazos de tiempo diferentes; evaluarlo con las mismas métricas que el resto de los proyectos, que generalmente comparan reutilización del diseño, no aporta información útil. Al observar la construcción de la participación bajo los criterios que proponen Chilvers y Kearnes (2019), se puede ver que el proyecto aporta en tres de los cuatro ejes que se consideran relevantes. En términos de reflexividad, las instancias de conversación tanto entre todos los colaboradores como los organizadores permitieron al proyecto mejorar la forma en que se abordaban los talleres, desarrollando dispositivos específicos para integrar a aquellos más marginalizados pero también documentación para que contribuyan quienes participan virtualmente. En términos de «ecologizar» la participación, con la excusa del drone Vuela se convirtió en un nodo itinerante agrupando experiencias de personas tanto en una comunidad vulnerable en Chile, como participando en el espacio *online*, como contribuyendo desde un lugar puramente académico. En términos de enmarcar la participación en contextos mayores, la posibilidad de conectar espacios tan disímiles como comunidad y academia no sólo es un logro en sí misma; también produce, a partir de la apertura, tecnología que puede volver a ser aprovechada por la comunidad.

El lente de construcción de capacidades resulta útil para ver varias contribuciones del proyecto que suelen volverse invisibles en las métricas disponibles dentro del movimiento de hardware científico abierto y de hardware abierto en general, que suelen medir reutilización o «forks». Uno de los ejemplos más claros es la remoción de barreras de acceso al diseño de la tecnología. El «gold standard» de la documentación de software, extrapolado a hardware por todas las comunidades globales, sugiere el uso de herramientas de control de versiones que permitan a los colaboradores contribuir sin «pisarse». En los casos académicos esto no suele ser un problema, pero en espacios comunitarios por lo general resulta inútil, como muestran ambos estudios de caso comunitarios. Enseñarle cómo usar *git* a alguien que no tiene computadora y a veces tiene electricidad, no funciona. Incluso en Open Flexure, muchos de los

9.3. PREGUNTA 3: CONSTRUCCIÓN DE CAPACIDADES Y UTILIDAD DE LA PRODUCCIÓN

colaboradores del makerspace no están cómodos con la idea de que la herramienta registre todo lo que se hace; cuando se comete un error se puede identificar quién lo cometió, lo que desalienta a que algunos participen. Al revisar el registro de actividad de KossamTor en GitHub, quien mejoró la documentación fue una científica inglesa que visitó el laboratorio recientemente, no los colaboradores. Vuela abordó este problema de forma diferente. Luego de intentos infructuosos, decidió abandonar el trabajo en *git* en los talleres con la comunidad. La documentación de Melipilla se hizo en post-its, afiches, una computadora con un documento Word abierto donde la gente se sentaba y escribía. Todo se compiló en un manual en Google Docs y fue subido a su página web. Los organizadores, que manejan la herramienta, actualizaban la cuenta de GitHub con sus propias reflexiones después de cada taller. Esta doble vía para documentar le permitió al proyecto sistematizar aprendizajes comunitarios y al mismo tiempo conectarse con colaboradores internacionales de perfiles técnicos más eficientemente.

El trabajo de facilitación intenso para lograr que se comuniquen colaboradores que no hablan el mismo idioma ni comparten cultura ni formación derivó en la construcción de capacidades diferentes al resto de los proyectos. Los organizadores comentan cómo a partir de los talleres, por ejemplo, perdieron el miedo a abrir y modificar las herramientas de trabajo. O cómo uno de los vecinos, inmigrante haitiano y sin dominar el español perfectamente, a partir de su entusiasmo y las habilidades técnicas que demostró pasó a ser uno de los principales formadores de pares del grupo. Sería interesante, a mediano plazo, evaluar si la participación sostenida de algunos vecinos durante meses de talleres cambió su relación con la comunidad de alguna forma, dados los problemas de integración de los inmigrantes en la zona.

Como se mencionó anteriormente, el análisis de los casos permite ver que no hay una fórmula «buena» o «exitosa» de participación o de configuración de actores en los proyectos GOSH. Los proyectos presentan un abanico de situaciones, configuraciones y posibilidades según el contexto donde están insertos y los objetivos en cada caso. En algunas situaciones será más conveniente un abordaje «de proceso», que abre alternativas, incluye actores tradicionalmente excluidos, construye capacidades a largo plazo. En otras situaciones quizás convenga una aproximación «de producto», que genere beneficios más inmediatos para necesidades urgentes. Las prescripciones rígidas, tanto las que indican que «siempre todos tienen que participar en todo» como las que sugieren que la forma «eficiente» es siempre aquella que conduce a la división de tareas, limitan el alcance. A modo de reflejo de lo que sucede a nivel colectivo, en la coexistencia de ambos tipos de proyectos y su combinación de escalas de tiempo, estrategias, prácticas, actores y «ontologías» diferentes, se construyen nuevas formas de ver y habitar el mundo (Escobar 2018).

9.4 Resumen del capítulo

Este capítulo describió de qué manera los resultados presentados en capítulos anteriores permiten responder a la pregunta general de este trabajo de investigación: ¿De qué forma el hardware científico abierto contribuye a democratizar la producción de ciencia y tecnología?

Con ese fin, para responder a la primera pregunta específica de investigación se analizaron las dinámicas de formación de GOSH como colectivo en términos de contexto de surgimiento, marcos conceptuales que informan la acción, estrategias para abrir espacios y potenciales trayectorias alternativas que propone el movimiento. Esto se contrastó con las lecciones aprendidas de otros movimientos de innovación de base y de transiciones sociotécnicas propuestas desde el marco teórico, permitiendo concluir que la consolidación de GOSH como nicho estratégico se hace a partir del aprovechamiento de ventanas de oportunidad tanto técnicas como políticas que permiten sumar actores académicos para «legitimar» sus demandas; que el colectivo utiliza la diversidad estratégicamente para avanzar su acción colectiva a través de instancias de expansión y contracción; que hacia el interior del movimiento la creatividad y lo lúdico se aprovechan como punto de partida para poner a dialogar visiones del mundo muy diferentes y formar identidad. La discusión con la literatura también permitió especular sobre los riesgos de fragmentación del nicho ante la interacción con las instituciones, y el rol de apertura que las incipientes políticas de fomento pueden tener para potenciar en lugar de invisibilizar los discursos y prácticas alternativas presentes en GOSH.

Para responder a la segunda pregunta de investigación, se analizaron los modos de participación, la inclusión de nuevos actores y la diversidad en los estudios de caso individuales, intra- e inter-bloques académico y comunitario. Esto se contrastó tanto con referencias de la literatura de Design Justice y domesticación de la tecnología como con trabajos relevantes en el campo del hardware abierto, identificados en el estado de la cuestión. Los resultados permiten comprender que más allá del contexto académico o comunitario donde se insertan los proyectos, son los objetivos los que determinan la modalidad de la participación e inclusión de nuevos actores; que los espacios físicos influyen significativamente en la diversidad de expertise que se encuentra en los colaboradores y que las estrategias que suceden en espacios *offline* configuran las de los espacios *online*. También se pudo observar que las estrategias de participación, en todos los casos, incluyen la generación de instancias de diálogo que habilitan la formación de pares y la circulación de información entre las etapas de diseño-fabricación-uso, y que esto permite producir artefactos altamente contextualizados.

Finalmente, para responder a la última pregunta de investigación se analizaron los factores que conducen a la construcción de capacidades en los estudios de caso individuales, intra- e inter-bloques académico y comunitario, en particular la capacidad de producir conocimiento. El contraste con la literatura de producción de conocimiento socialmente útil y los conceptos de ciencia participativa y ciudadana permitieron concluir que en la academia, el uso de herramientas abiertas permite a jóvenes investigadores y estudiantes sortear rigideces institucionales a través del desarrollo de pruebas de concepto con bajo riesgo; y que la producción tiende a profesionalizarse, abriendo nuevos modelos de negocio con circuitos cortos de comercialización; que los proyectos de hardware científico abierto ganan autonomía gracias al uso de herramientas producidas con materiales locales, reparables y sostenibles; que son los roles híbridos académico-activistas (y en los proyectos comunitarios, particularmente las mujeres) los que habilitan el diálogo entre actores, ya sea interdisciplinario u ontológico, y que esa capacidad de diálogo permite producir conocimiento y tecnología socialmente útil al contextualizar los problemas de conocimiento y el desarrollo de tecnología por medio de «interacciones productivas». El análisis de capacidades también permitió observar beneficios derivados de proyectos que normalmente se consideran «poco exitosos», reforzando la idea de que modelos diferentes de participación aportan beneficios diferenciales tanto en términos de su naturaleza, de a quiénes benefician y de la escala de tiempo en la que suceden, y que ambos son necesarios en el camino de la democratización de la producción de conocimiento.

En el próximo capítulo se presenta un breve recuento de la evolución del trabajo de tesis, desde el planteo de la pregunta hasta el análisis de resultados. Se detallan luego las contribuciones teóricas, prácticas y metodológicas del trabajo, las limitaciones del estudio y las implicancias para la investigación, las políticas y la práctica.

Capítulo 10

Conclusiones

10.1 Introducción al capítulo

Este trabajo tuvo como objetivo comprender de qué forma las prácticas de hardware científico abierto contribuyen a democratizar la producción de conocimiento en la periferia. El hardware científico abierto está ganando momento a nivel global de diferentes maneras: a través de la consolidación de redes transnacionales, las emergentes recomendaciones de políticas, la atracción de nuevos colaboradores y la obtención de financiamiento tanto público como privado para el desarrollo de sus actividades. En este contexto, la propuesta intenta iluminar el costado más radical y esquivo del discurso y la práctica de GOSH: la promesa de la democratización más allá de la eficiencia, y la mirada desde los países periféricos más allá de los países centrales.

Para abordarlo se plantearon los siguientes interrogantes: ¿De qué manera GOSH se constituye como un nicho estratégico de innovación? ¿Cómo los proyectos GOSH promueven la participación de actores nuevos y más diversos en la producción de tecnología «útil» o «de impacto»? ¿En qué medida y cómo los participantes en los proyectos GOSH construyen capacidades?

Este capítulo comienza presentando el camino que llevó a la construcción del problema de investigación, para continuar con la síntesis de resultados en función de las preguntas de investigación planteadas por el trabajo. Se detallan las contribuciones teóricas, metodológicas y empíricas para luego mostrar las limitaciones del estudio. El capítulo cierra con el detalle de las implicancias que los resultados presentan para la investigación, la práctica y las políticas.

10.2 El camino hacia la pregunta de investigación

El objetivo principal de este trabajo fue explorar el potencial democratizador del HCA en la periferia; en estas primeras líneas quisiera comentar la experiencia personal que me llevó a investigar este tema en particular.

En 2015 me sumé al Centro de Investigaciones para la Transformación (CENIT-UNSAM) para trabajar en un proyecto de la red de Ciencia Abierta y Colaborativa para el Desarrollo (OCSDnet) sobre prácticas de ciencia abierta en Argentina. Mi formación en ciencias ambientales y un interés marcado por la agroecología hacían que el proyecto me resultara particularmente interesante, ya que analizaba prácticas de apertura en casos, entre otros, de iniciativas agroecológicas. Mi conocimiento sobre la ciencia abierta en ese momento era limitado; entendía que se trataba de la aplicación de la filosofía del software libre, con la que si estaba familiarizada, a la investigación académica; conocía como casi todo el mundo el proyecto SciHub.

El trabajo en ese proyecto me llevó a entender la ciencia abierta como mucho más que el uso de software libre para investigación: la comprendí, entre otros sentidos, como una práctica apropiable por actores por fuera del sistema académico, con sus propias agendas y necesidades de producción de conocimiento. Esto me llevó a presentar en 2015 un proyecto de doctorado a CONICET para continuar el trabajo en CENIT, que combinaba estos intereses bajo la pregunta de cómo las tecnologías abiertas pueden contribuir a la transición agroecológica, a través del estudio de iniciativas de hardware abierto que habíamos detectado en algunos Institutos para la Agricultura Familiar (INTA-IPAF) en Argentina.

Sin embargo, varios meses más tarde y ya con la beca otorgada, el panorama de la agricultura familiar se volvió bastante oscuro; las iniciativas que habíamos identificado estaban trabajando de forma mucho más reducida o directamente paradas. Esto obligó a abrir la mirada para detectar otros proyectos desde donde observar este cruce de prácticas de apertura y producción comunitaria de conocimiento. Influyó en este proceso de identificación mi activismo en organizaciones locales por el software libre*, con su discurso y práctica que entrelaza lo (socio)técnico con las demandas de los movimientos sociales; también mi trabajo en divulgación científica desde radios comunitarias† y sus redes más amplias de inserción.

En este contexto, una de las entrevistas realizadas a modo exploratorio me

*Partido Interdimensional Pirata

†FM La Tribu – Sin aire no hay fuego

permitted conocer el trabajo de Public Lab, y a través de esto el trabajo *online* de GOSH, en particular el manifiesto. A partir de esto comencé a pensar en GOSH como posible lugar desde donde estudiar la relación entre tecnologías abiertas y producción de conocimiento. Con estas ideas en mente asistí al encuentro de GOSH en Chile de 2017, sin saber bien qué esperar. Para mi sorpresa, los discursos y las prácticas de los activistas en ese evento sintetizaron los ángulos que venía trabajando: ciencia abierta, movimientos sociales, democratización de la tecnología, producción comunitaria de conocimiento. Las conversaciones con los participantes latinoamericanos que llevaron al nacimiento de la red latinoamericana de tecnologías libres (reGOSH) influyeron ampliamente en la elección del enfoque de este trabajo, que como resultado de ese encuentro se ubicó en la intersección entre el hardware científico abierto, la democratización de la producción de conocimiento y su desarrollo desde Latinoamérica.

Durante 2017 comencé a desarrollar un proyecto de ciencia comunitaria usando hardware abierto en un hacklab en Buenos Aires, donde formaba parte de la organización, en paralelo al trabajo de doctorado. Este proyecto de monitoreo ambiental incluyó además de la construcción de hardware la organización de sesiones entre investigadores, activistas y otros interesados para discutir estos temas; además me permitió experimentar de primera mano algunas de las limitaciones que estaba estudiando. Al mismo tiempo, mi participación cada vez mayor en el movimiento facilitó la creación de lazos de confianza con participantes y fundadores en el norte global, que me permitieron acceder a nuevas perspectivas y testimonios.

Estar en contacto con la mayoría de los miembros de la red y estar al tanto de las novedades me volvió una especie de «enciclopedia informal» para los nuevos llegados a GOSH, y «servicio de noticias» para el resto de los activistas. Me pareció en ese momento que era importante que este conocimiento tácito no se perdiera, y que sirviera para acompañar el desarrollo del movimiento. Esta inquietud llevó a reforzar la escala de observación del colectivo en el trabajo de tesis, profundizando en los orígenes y dinámica del movimiento global; derivó también en que escribiera la historia de GOSH que conforma uno de los capítulos de este trabajo, y una pieza de divulgación publicada en su página web*.

El diseño de la investigación tuvo un nuevo giro en 2018, cuando apareció la oportunidad de formar parte de un programa educativo suizo que promueve el uso de hardware científico abierto para el desarrollo de proyectos hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Pude observar como en este contexto tan diferente la promesa de democratización del HCA perdía un poco de fuerza, ganando mucho más terreno el discurso en torno a las eficiencias. El cambio de locación me puso en

*openhardware.science/about/gosh-history/

conversación nuevamente con muchos de los activistas africanos que había conocido en Chile; me di cuenta que para ellos, como para los latinoamericanos, el ángulo de democratización también es fundamental; las barreras al trabajo también son similares. Esto despertó mi interés a partir de la posibilidad de comprender la forma que toma el HCA no sólo en Latinoamérica, sino también en África.

A partir de estos encuentros y la posibilidad de acceder a financiamiento para visitar los proyectos africanos, el diseño de la investigación tomó su forma final: explorar la contribución del hardware científico abierto a la democratización de la producción de conocimiento, a través del análisis del movimiento global y de experiencias latinoamericanas y africanas.

El marco teórico que guía este trabajo también fue modificándose para acompañar los cambios en el diseño de la investigación. El marco de transiciones que permite analizar el cambio sociotécnico se complementa con el enfoque de movimientos de innovación de base, conectando con la dimensión política. El foco en la producción socialmente útil de conocimiento, en particular en la periferia, responde al eje común de todas las discusiones entre activistas GOSH del «sur global» desde aquel primer encuentro en 2017: ¿cómo utilizar estas herramientas abiertas para producir conocimiento que *nos sirva*?. La combinación con la literatura de los ESCT, en particular con tradiciones feministas, responde a la necesidad de reforzar el foco en la agencia de los artefactos y su contribución a la distribución de poder, pero siempre *desde* las usuarias, un lente que permite observar los mecanismos de la participación y su traducción en artefactos. Evaluar estos procesos de participación e inscripción en términos de capacidades tiene como objetivo explorar las contribuciones de las prácticas a un nivel más profundo, más allá de lo artefactual.

10.3 Respondiendo las preguntas de investigación

La propuesta definitiva de trabajo consiste en un análisis cualitativo a dos escalas de observación diferentes pero articuladas: por un lado se realizó el estudio del movimiento global para comprender la lógica en la que se insertan los proyectos y su viabilidad (primera pregunta de investigación), y por otro lado se realizó un estudio de caso múltiple que explora cada iniciativa situada en su contexto, ya sea académico o comunitario, tanto en términos de participación (pregunta número dos) como de construcción de capacidades (pregunta número tres).

Esta sección presenta, a modo de síntesis, cómo los resultados obtenidos permiten responder a las preguntas de investigación.

10.3.1 Consolidación del movimiento global

P1: ¿De qué manera el hardware científico abierto se constituye como una alternativa viable de cambio del régimen de herramientas patentadas hacia la apertura?

El objeto de trabajo de GOSH es la infraestructura para la producción de conocimiento, y como tal su discurso interpela a una pluralidad de visiones y actores: ciencia abierta, justicia ambiental, justicia cognitiva, tecnologías apropiadas, pedagogías críticas, (trans)hactivismo. Estos múltiples interlocutores aportan una diversidad de elementos que GOSH aprovecha de manera diferencial para consolidar su nicho.

El análisis de entrevistas semiestructuradas y observación participante permitió identificar que GOSH se constituye como nicho viable a partir de cuatro estrategias principales:

- la legitimación de sus demandas a través de la incorporación de actores académicos de alto perfil;
- la formación de identidad a partir del trabajo creativo sobre los artefactos tomado de la cultura hacker;
- la utilización de metodologías de organización y deliberación tomadas del activismo y los movimientos sociales;
- la transparencia como forma de legitimación tomada de la ciencia abierta.

En primer lugar, GOSH se constituye como alternativa viable de cambio a partir de la incorporación de actores académicos que «legitiman» demandas y prácticas ya presentes en diversos espacios del activismo que se consideraban hobbistas o «demasiado politizadas». Lo hace aprovechando ventanas de oportunidad abiertas por movimientos anteriores, como el «giro participativo» en la academia que facilita la discusión sobre inclusión y participación en ciencia, o los logros del movimiento de ciencia abierta, que le brindan vocabulario e identidad («*no hay ciencia abierta sin hardware científico abierto*») y normalizan la discusión sobre ciencia y propiedad intelectual entre investigadores.

En segundo lugar, GOSH toma de la ética hacker y de los transhactivistas la estrategia de formación de identidad basada en la creatividad y lo lúdico, para hacer dialogar a esta pluralidad de marcos conceptuales con la «excusa» de los artefactos y la motivación del aprendizaje no necesariamente productivo. Hacia afuera, la estrategia lúdica permite incorporar el mensaje y los valores importantes para la comunidad en la materialidad de los artefactos. En un contexto global

predominantemente tecnocrático, producir artefactos deseables, desde la creatividad y la curiosidad pero con una lógica diferente hace que el mensaje llegue a actores nuevos, que no suelen cuestionar lo social implícito en la tecnología.

En tercer lugar, GOSH toma de la justicia ambiental y el transhacktivismo los métodos de organización que le permiten motorizar su acción colectiva: procesos de reflexión y negociación altamente facilitados para que todos tengan oportunidad de expresarse, elaboración y síntesis de esta información, toma de decisiones. Generalmente estos procesos se disparan en los eventos globales, y continúan de forma virtual. Estos métodos permiten aprovechar y articular las tensiones entre las visiones plurales del movimiento para construir mensajes representativos; por otro lado generan un riesgo de agotamiento en los participantes comunitarios si no se redistribuye la carga de las tareas de organización. La decisión de fortalecer las redes y encuentros regionales en lugar de realizar un encuentro global responde en parte a este factor, y al rápido crecimiento en número de participantes que vuelve más difícil la aplicación de estas metodologías.

En cuarto lugar, GOSH toma de la ciencia abierta la transparencia y la práctica de la colaboración. El proceso de deliberación, elaboración y consenso es transparente, lo que permite legitimar la toma de decisiones y hacer circular la información. Por ejemplo, a excepción del manifiesto que fue el primer documento producido, todas las instancias de decisión se abren durante un período a la colaboración *online* cuyas contribuciones se incorporan a la toma de decisiones. Esto facilita además la incorporación de nuevos participantes, que tienen acceso desde el principio a toda la información.

La pluralidad, entonces, le permite a GOSH formar identidad y articular su visión con claridad y representatividad. Pero también lo habilita a comunicar esa visión a través de redes amplias, con actores que «traducen» el mensaje de GOSH según los espacios que ocupan y los interlocutores que los escuchan, ya sea en la ciencia comunitaria o los hackerspaces, la academia, la educación informal o el mundo del arte. Contar con estos nodos además le aporta recursos de diferente naturaleza: expertise técnico, expertise organizativo, credenciales, vocabulario, acceso a espacios, a financiamiento, prensa a través de participantes de alto perfil académico o de la organización civil, contactos con fabricantes de hardware que auspician materiales, entre los más significativos.

En la periferia, GOSH se consolida a través de intercambios frecuentes entre participantes de alto perfil en el centro y activistas en Latinoamérica o África. En general, el formato de estos intercambios entre intermediarios clave es el *taller* o la participación en eventos regionales. En estas interacciones se intercambia expertise

técnico pero también modalidades de trabajo, como los talleres de armado de microscopios en Chile y Argentina con participantes de Alemania. Otra modalidad relacionada a los eventos es la participación de miembros de alto perfil académico que asisten por ejemplo a AfricaOSH. Estas participaciones permiten desarrollar o afianzar colaboraciones en la región, de alta visibilidad en circuitos dentro y fuera de la academia. Las redes regionales cuentan con autonomía para desarrollar sus propias agendas, pero existen intercambios frecuentes entre estas redes y los participantes en el norte global, en particular en AfricaOSH.

A lo largo de los sucesivos encuentros, la dinámica de decisión colectiva y sistematización de las lecciones aprendidas permitió a GOSH adaptar sus estrategias. La decisión de salir de Europa después del primer evento en CERN se tomó luego de una autoevaluación donde los participantes señalaron la falta de voces de otras latitudes. La realización del último evento global en China respondió a la inquietud expresada en Chile por parte de varios participantes sobre cómo conectar con la industria para profesionalizar los diseños. La descentralización de las actividades responde al agotamiento expresado por parte de los miembros clave del movimiento a cargo de la organización, y a la imposibilidad de organizar un único evento de las características de GOSH con más de cien personas.

El análisis muestra que GOSH está consolidado como movimiento capaz de influir en el régimen patentado de producción de herramientas científicas; las tensiones hacia el interior de GOSH se muestran productivas en tanto puedan articularse en función de objetivos comunes. En este sentido, las lecciones de otros movimientos plurales muestran que éstos corren riesgos de fragmentación, en particular a partir de la interacción con la institucionalidad. Si las prácticas y narrativas que se perciben como menos amenazantes del *status quo* son adoptadas y se dejan de lado aquellas más transformadoras, el movimiento puede fragmentarse generando un nuevo nicho de innovación, más radical. Algunos indicios alertan sobre este riesgo, por ejemplo la aparición de recomendaciones de políticas que solo enfatizan el aspecto de eficiencia del hardware científico abierto. La virtualidad obligada durante la pandemia de COVID-19 también resultó influyente en este sentido, ya que aquellas voces que más se visibilizan en el movimiento son aquellas que cuentan con infraestructuras de soporte, en su mayoría, desde la academia. Ante esta situación, el rol que tome la política pública resulta clave. Una posición que refuerce y promueva solo los discursos o prácticas más «digeribles» puede favorecer la fragmentación.

10.3.2 Mayor participación y más diversa

P2: ¿Cómo los proyectos GOSH promueven la participación de nuevos y más diversos actores en la producción de conocimiento y/o tecnologías «útiles» o «de impacto»?

En primer lugar, el análisis de proyectos GOSH en países de Latinoamérica y África, tanto dentro como fuera de la academia, mostró que las prácticas de hardware científico abierto permiten incorporar nuevos actores en los procesos de producción de conocimiento y tecnologías. Los modos de la participación varían según los objetivos del proyecto y no según el contexto académico o comunitario: si se trata de un proyecto con foco en abrir la fabricación en sí misma, los nuevos actores se incorporan en un rol fluido, usuaria-desarrolladora. Si el foco del proyecto está en el producto final, los nuevos actores se incorporan en un esquema de división del trabajo a través de las etapas de fabricación: pueden tomar el rol de nuevas usuarias, o de desarrolladoras o participar como fabricantes.

En segundo lugar, en los proyectos estudiados la diversidad tanto de saberes como de género de los participantes está principalmente determinada por los espacios físicos donde se desarrollan las tareas, no por la complejidad de los artefactos que intentan producir. En términos de diversidad de género, en los casos comunitarios las mujeres ocupan roles clave que aportan expertise contextual para la construcción del problema a solucionar o investigar; en los casos académicos las mujeres sólo participan como usuarias. Incluso desde este lugar, aportan saberes altamente contextualizados que contribuyen a la construcción de utilidad de los artefactos. En términos de diversidad de saberes, los espacios juegan un rol fundamental. Cuando los proyectos se desarrollan en espacios fuera de la academia, la proporción de participantes sin educación formal aumenta gracias a dos factores: el alcance de redes territoriales preexistentes de estos espacios, como por ejemplo centros vecinales, y la apertura a la participación esporádica de los vecinos, más flexible que en espacios institucionales. En los casos académicos donde se observa que los investigadores «salen» de la universidad, los contactos son facilitados por la misma institución de trabajo, que por su misión (ambos proyectos académicos trabajan en salud) conectan con entidades públicas y comunidades que sufren de enfermedades endémicas.

En tercer lugar, se pudo observar que contar con una mayor diversidad de colaboradores no implica que estos participen de todas las etapas de la producción de conocimiento/tecnologías. Algunos proyectos priorizan el beneficio directo que la comunidad puede obtener a partir de contar con un artefacto funcional, frente al potencial beneficio a largo plazo de la participación de «todos en todo»; esto

sucede en particular cuando el objetivo que se trabaja es urgente, como la seguridad alimentaria.

En cuarto lugar, aunque todos los proyectos cuentan con la publicación de documentación *online*, no todos hacen uso del espacio virtual de la misma manera. Aquellos proyectos que logran construir una buena documentación lo hacen como reflejo de la intensidad del proceso de formación de pares, producto de la distancia entre los saberes de los colaboradores. Este esfuerzo se capitaliza con la llegada de nuevos colaboradores virtuales, esporádicos, generalmente altamente especializados. Grupos de trabajo más homogéneos, por ejemplo equipos interdisciplinarios, necesitan realizar el esfuerzo de imaginar quién es el público que puede reutilizar el proyecto, lo que suele derivar en documentación incompleta, altamente técnica o solo en inglés. En términos de licencias, todos los proyectos utilizan alguna variante de licencia *copyleft*, reflejando la intención de evitar la apropiación privativa de los desarrollos. Sin embargo, la «cuestión de las licencias» no aparece como relevante ni ocasiona tensiones en ninguno de los proyectos, excepto en Open Flexure. Esto podría indicar que las licencias ganan un rol más crítico a medida que los proyectos crecen e intentan profesionalizar la producción.

¿De qué forma estas estrategias de participación se materializan en mejores artefactos, «más útiles»? En todos los casos, el desarrollo y fabricación de herramientas científicas abiertas se hace a través de estrategias colaborativas de trabajo iterativo, modular y orientado a la usuaria, que facilitan la circulación de información entre actores. Las «hipótesis» que los desarrolladores construyen de forma modular se materializan en prototipos que se prueban con las usuarias en ciclos iterativos, originando mejores diseños con el correr del tiempo; el uso de licencias abiertas garantiza que la información fluya a través de las etapas sin fricciones. Esto resulta, por ejemplo, en listas de materiales que son conseguibles a nivel local y aptas al contexto de uso, adaptación de las funcionalidades a las capacidades de fabricación disponibles, adaptación de las interfaces según las características particulares de quien las usa, o en usuarias que sugieren nuevas funcionalidades que responden a sus propias necesidades. Además, esto hace que los artefactos no alcancen nunca una versión definitiva; existen múltiples versiones que coexisten y se adaptan mejor a diferentes usos.

10.3.3 Construcción de capacidades

P3: ¿En qué medida y cómo los participantes en los proyectos GOSH construyen capacidades?

En la academia, el estudio de casos permitió observar que el desarrollo de herramientas abiertas permitió a jóvenes investigadores y estudiantes navegar exitosamente obstáculos institucionales (presión para la comercialización, escaso apoyo dada la internacionalización de las agendas) en el desarrollo de nuevas hipótesis o metodologías. Adicionalmente, la visibilidad de los proyectos derivó en beneficios para las carreras académicas de los jóvenes investigadores, como el establecimiento de laboratorios propios.

Siguiendo con los casos académicos, la capacidad de producir herramientas de calidad es identificada como muy relevante para los investigadores, observándose una tendencia a la terciarización de la fabricación en espacios locales que condice con la tendencia global. En Open Flexure, caso con mayor recorrido, los investigadores se encuentran diseñando pruebas de calidad que los makerspaces u otros espacios comunitarios de fabricación pueden implementar a fin de garantizar la calidad del producto. Este modelo de fabricación distribuido de herramientas científicas abiertas a bajos volúmenes y altos estándares de calidad reduce los costos de fabricación dramáticamente, como puede observarse en otras iniciativas a nivel global (Hill et al. 2019; Parker y Novak 2020b). Este modelo también se puede encontrar en la región: un ejemplo es la compañía TECSCI*, spin-off del Instituto de Nanosistemas de la Universidad Nacional de San Martín (Argentina); otro ejemplo se puede encontrar en Scintia†, una startup mexicana que produce y comercializa herramientas para biología sintética tanto para investigación como para educación.

La capacidad de producir y reparar artefactos personalizables de manera autónoma es la que motoriza todos los proyectos. En todos los casos los artefactos fueron fabricados con materiales disponibles localmente, en los casos académicos utilizando impresión 3D, metodología que no se observa en casos comunitarios. Los componentes genéricos se consiguen en negocios locales, los componentes electrónicos son importados pero accesibles, principalmente desde China. La reparabilidad fue observada en la totalidad de los casos, y se vuelve relevante ya que existen preocupaciones sobre la tasa de fallas de algunos de los componentes importados. Los casos africanos mostraron que la capacidad de producción y reparación locales representa además una fuente de ingresos y estrategia de sostenibilidad para los makerspaces, que comercializan los artefactos producidos y ofrecen servicio técnico principalmente a universidades.

En todos los casos, la capacidad de construir un lenguaje común que permita comunicar actores diversos fue lograda gracias a la facilitación de roles académico-activistas. La característica principal de estos roles es que

*<https://tecsci.com.ar>

†<https://www.scintia.com/scintia-en-el-lab>

pueden dominar tanto el lenguaje técnico como el lenguaje de los no expertos, funcionando como puente. El tipo de diálogo que facilitan cambia de acuerdo al objetivo del proyecto: aquellos proyectos «de producto» generan diálogos de tipo interdisciplinario; en cambio Vuela, único caso orientado «a proceso» genera diálogos entre participantes con diferente formación y hasta diferente idioma. Estos diálogos toman forma, principalmente, de instancias de formación de pares o de pruebas y capacitaciones con usuarias donde se obtiene devolución sobre la performance. Excepto en el caso de Gorgas, donde las usuarias eran también sujetos de la investigación, en el resto de los casos las usuarias fueron capaces de ensamblar y reparar los artefactos.

Los participantes buscan a través de sus prácticas construir la «utilidad» que asumen lejana de la producción de ciencia y tecnología en la periferia. Para alcanzarla, la estrategia omnipresente es el diálogo entre las diferentes etapas de diseño, fabricación y uso, tanto entre desarrolladoras y fabricantes como entre fabricantes y usuarias, e indirectamente entre desarrolladoras y usuarias. Los casos académicos se diferencian de los comunitarios en que los primeros tienden a desarrollar sus propios diseños, mientras que los segundos adaptan diseños probados como útiles en otros contextos y trabajan sobre su adaptación.

La capacidad de producir tecnologías y conocimientos socialmente útiles en cada contexto se observa en todos los proyectos de forma diferente de acuerdo a sus objetivos. La capacidad de diálogo se materializa en la construcción de problemas de conocimiento que reflejan más fielmente los problemas sociales que se pretenden abordar:

- El trabajo de Gorgas, donde fue clave el aporte de las comunidades indígenas, generó conocimiento que permitió incorporar la movilidad humana como eje de análisis en el Plan Malaria Cero que lleva adelante el Ministerio de Salud peruano
- Open Flexure, a partir de interactuar con las usuarias en el Ifakara Health Institute, comprendieron que además de la falta de equipos es la falta de personal técnico lo que demora los diagnósticos de malaria; un nuevo proyecto de OF trabaja en el desarrollo de algoritmos que permitan automatizar tareas rutinarias y liberar tiempo de los técnicos.
- En Vuela, el diálogo construido con los vecinos y la interacción con investigadores visitantes permitieron que la comunidad construya un problema de conocimiento a partir de una situación de riesgo que los preocupa y por la cual vienen reclamando sin éxito.
- La interacción entre ingenieros y microbiólogas en KossamTor reorientó el objetivo principal del proyecto original desde vender la incubadora a las

universidades hacía la producción de yogur por parte de las mujeres de la comunidad vecina.

El análisis permite observar, además, que la participación en procesos de producción de tecnologías no se correlaciona necesariamente con la capacidad de todos los participantes de producir conocimiento *científico*. Sin embargo sí permite construir tecnologías y conocimientos «robustos», que acercan la agenda científica y tecnológica a las necesidades del contexto local. En este punto la diferencia entre objetivos «de proceso» o «de producto» se vuelve relevante, ya que bajo los parámetros de la propia comunidad de hardware científico abierto las iniciativas de primer tipo pueden leerse erróneamente como un fracaso. Observar la construcción de capacidades permite ver que estas iniciativas bajan las barreras del proceso de fabricación, con el objetivo de incluir actores marginalizados en la conversación y fabricación de tecnologías.

10.3.4 Hardware científico abierto y democratización

Finalmente, ¿de qué forma las prácticas de hardware científico abierto contribuyen a democratizar la producción de conocimiento en la periferia? El análisis del colectivo muestra que tiene el potencial de influir sobre el modelo patentado que rige hoy la producción de las herramientas de la ciencia. Lo hace, entre otras cosas, aprovechando las tensiones entre una diversidad de actores y visiones que confluyen en la demanda de apertura. Estas mismas tensiones podrían fragmentar el movimiento si ante la aproximación de la institucionalidad, no se articulan nuevamente todas las visiones.

Los estudios de caso muestran que en la periferia las iniciativas de hardware científico abierto están lideradas por roles académico-activistas, tanto desde adentro como desde afuera de la academia, que generan instancias de diálogo a veces interdisciplinario y otras inter-epistémico, incorporando más y más diversos actores en la producción de tecnologías y conocimiento. Estas instancias de diálogo habilitadas por la apertura se materializan en la fabricación de artefactos y conocimiento robustos, altamente contextualizados; el rol de los espacios físicos es fundamental en la determinación de quiénes participan de la conversación. Estas *tecnologías desde el diálogo* son producto y función de esos intercambios entre usuarias, fabricantes y desarrolladores; continúan modificándose mientras el diálogo exista. Sus diseños reflejan la configuración de espacios, usuarias y necesidades de cada contexto en particular.

El análisis de los casos permite observar también que no existe una fórmula

exitosa para desarrollar proyectos: los modos de participación dependen de los objetivos, que en algunos casos responden a la necesidad de solucionar problemas, y en otros apuntan a la inclusión a través de la participación de actores marginalizados en sus comunidades. Esta tesis argumenta que ambos tipos de proyectos aportan al proceso de «democratización» de forma diferente, ya que los modos de la participación son distintos y los resultados son observables en distintas escalas de tiempo.

10.4 Contribuciones del estudio

10.4.1 Contribución teórica

Este trabajo utiliza el marco teórico de transiciones y movimientos de innovación de base para estudiar las transiciones sociotécnicas hacia sistemas de producción de conocimiento más democráticos. Como tal, la contribución teórica de este trabajo está en la triangulación de conceptos que refuerzan el **análisis de la diversidad, el poder y la agencia artefactual** en las transiciones hacia la democratización.

Dado que el hardware científico abierto justamente abre las etapas de diseño y fabricación, requiere de un marco que permita explorar cómo las visiones diferentes de la tecnología pueden inscribirse en los artefactos, y de qué forma estos a su vez determinan quiénes y cómo pueden usarlos (Akrich 1992). Es por ello que atendiendo a la larga tradición de estudios feministas de la tecnología se utiliza el lente de Design Justice, que habla en el idioma de quienes diseñan y fabrican, para explorar quiénes participan en qué etapas del diseño y cómo los artefactos «ejercen poder» a partir de habilitar ciertos usos a ciertas usuarias en el proceso de construir tecnologías. Los conceptos de domesticación de la tecnología, adicionalmente, permiten analizar la participación de las usuarias en términos de trabajo cognitivo, práctico y de sentido; de esta forma se iluminan los mecanismos de la participación.

Esta incorporación tiene como objetivo poder observar quiénes (y quiénes no) son los actores que toman un rol activo, capaz de inscribir sentido en los artefactos, y qué esfuerzos realizan en el proceso. Por otra parte, los estudios feministas de la tecnología están llamativamente ausentes cuando se observan las teorías más frecuentemente utilizadas para abordar el cambio sociotécnico (Sovacool y Hess 2017). Su inclusión en este trabajo también intenta revalorizar el aporte de su análisis situado e interseccional al estudio de las transiciones sociotécnicas.

10.4.2 Contribuciones metodológicas

Este trabajo utilizó como plataforma para experimentar con la aplicación de prácticas de ciencia abierta a una investigación cualitativa. Las prácticas más difundidas de ciencia abierta son mayoritariamente utilizadas en disciplinas «duras» o que utilizan metodologías cuantitativas. Esta tesis presenta una contribución en este sentido desde las ciencias sociales y para un proyecto de mediano plazo como es una tesis doctoral. Creo que esto constituye una contribución que me gustaría sistematizar en este apartado detallando las herramientas utilizadas, los beneficios asociados y los obstáculos.

10.4.2.1 Herramientas utilizadas

Al inicio de esta tesis se creó un repositorio en GitHub* asociado a una página web† para documentar los avances del trabajo; contar con un correo electrónico asociado a una institución educativa permite acceder a las funcionalidades de la plataforma de forma gratuita. En este repositorio se publicaron, a medida que se elaboraban, todas las notas de campo y escritos preliminares anonimizados, planes de trabajo, protocolos para entrevistas y tratamiento de datos y análisis preliminares. Los materiales no publicados en este repositorio incluyen las transcripciones de entrevistas y los nombres de los entrevistados, almacenados en una computadora de uso personal.

La ausencia de convenios en el ámbito de la universidad para uso de software de análisis cualitativo asistido por computadora (CAQDAS) hace que sean inaccesibles; a modo ilustrativo una licencia estudiantil para uso de ATLAS.ti cuesta 50 dólares por seis meses y 100 dólares por dos años, una vez demostrada la afiliación institucional. La etapa de análisis se realizó con software de código abierto; la codificación del material se hizo utilizando el software *taguette*‡. En pos de poder visualizar relaciones entre códigos, se probó el uso de RQDA§, paquete abierto y simplificado de funcionalidades que poseen programas privativos no disponibles para sistemas operativos Linux, como ATLAS.ti o nVIVO.

*github.com/thessaly/phd

†thessaly.github.io/phd

‡<https://www.taguette.org/>

§<https://rqda.r-forge.r-project.org/>

10.4.2.2 Oportunidades

El uso de herramientas abiertas de documentación reportó beneficios directos e indirectos. Los beneficios directos incluyen la posibilidad de trabajar desde múltiples ubicaciones y equipos sin dejar de contar con un control de versiones consistente, disponible sin conexión y en diferentes formatos (.txt, .md, .tex); y la posibilidad de gestionar el trabajo en la misma plataforma, gracias a herramientas de gestión de proyectos incluidas en GitHub (paneles *kanban*, seguimiento de incidencias automatizado). Los beneficios indirectos incluyen la posibilidad de contar con una página web actualizada en tiempo real que funcionó como herramienta de comunicación/presentación ante entrevistados y personas interesadas; la mayor visibilidad del trabajo, que permitió conectar con otros investigadores en la temática y acceder a recomendaciones de lecturas y metodologías; pero principalmente la confianza por parte de los activistas, que en todo momento accedieron al plan de trabajo y sus avances. En términos de divulgación de resultados, publicar un preprint con avances del trabajo permitió ganar visibilidad en un contexto de publicaciones con referato que demoran un promedio de 6 meses para la revisión. Esta visibilidad se materializó, por ejemplo, en invitaciones a discusiones de políticas y consulta de expertos.

10.4.2.3 Barreras

Las herramientas de documentación abierta presentan una curva de aprendizaje que demanda una inversión inicial de tiempo y esfuerzo por parte del investigador, es necesario dominar el inglés para usarla y no es conveniente para el almacenamiento de datos que no sean texto, como imágenes o videos. Existen otras barreras no relacionadas con la herramienta per se, como por ejemplo que quienes desean comentar sobre los textos deben saber usar la plataforma; por lo tanto los supervisores también deben capacitarse, caso contrario se comienzan a duplicar los textos en múltiples formatos. Otra de las barreras es la propia duda ante la transparencia «pre resultados» o antes de la publicación. A modo personal, documentar públicamente cada paso de la investigación me permitió tener una conciencia mayor sobre la información que se iba generando, y de control sobre los avances. Durante el análisis, la etapa de visualización de relaciones resultó muy poco útil; RQDA es un software poco actualizado y de interfaz extremadamente rústica. Más allá de la falta de usabilidad, posee problemas de funcionamiento que entorpecieron el trabajo y pusieron en riesgo horas de análisis. Algunas relaciones básicas, como nube de códigos o frecuencia de palabras pudieron extraerse utilizando

scripts propios escritos en R^* , sin embargo para niveles de análisis más avanzados esto requiere de mayor tiempo y dedicación.

A modo de síntesis, las prácticas de ciencia abierta en investigación cualitativa demandan de inversión de tiempo de aprendizaje, las herramientas no están diseñadas específicamente para la disciplina por lo que algunas veces el trabajo se dificulta; sin embargo personalmente considero que los beneficios exceden ampliamente los esfuerzos de uso. En este sentido, una publicación reciente de Okune (2020) documenta el uso de la plataforma de código abierto PECE para el archivo colaborativo, «vivo» de datos cualitativos obtenidos en investigación etnográfica. Este tipo de plataformas pueden reducir la curva de aprendizaje y resultar útiles en la formación de comunidades temáticas alrededor de temas de investigación, que aumenten todavía más la visibilidad.

10.4.3 Contribuciones empíricas

10.4.3.1 Movimiento GOSH

Los resultados de este trabajo contribuyen en primer lugar a la comprensión de la dinámica colectiva de **GOSH como movimiento de innovación de base**. El análisis permitió identificar de qué forma GOSH articula su pluralidad y construye una identidad y estrategias propias a partir de elementos tomados de los diversos marcos conceptuales que informan la acción colectiva. Los elementos identificados incluyen las prácticas de transparencia y colaboración tomadas de la ciencia abierta, los métodos de organización y deliberación que motorizan la acción colectiva tomados del activismo, la creatividad y lo lúdico para la construcción de identidad y artefactos con nuevos sentidos tomado de la cultura hacker, la legitimación de las demandas a través de incorporar actores académicos de alto perfil. La pluralidad de actores también habilita la llegada del mensaje a espacios diversos y con discursos apropiados, y la movilización de recursos de tipo material como no material. Se pudieron identificar además las relaciones entre el norte y sur globales dentro del movimiento, principalmente a través de intermediarios clave que circulan conocimiento tanto organizativo como técnico. Por otro lado, se hizo visible que existen procesos de aprendizaje secundario que permiten a GOSH adaptar su acción de acuerdo al entorno y las necesidades de su pluralidad.

El análisis en clave de movimientos de innovación de base permitió una mirada contextualizada de la emergencia de GOSH, que derivó en la escritura y publicación de la **historia del movimiento** desde las primeras conversaciones en 2014 hasta

*<https://thessaly.github.io/wordcloud/>

hoy. Por otro lado, a partir de esos conocimientos y la experiencia de movimientos históricos con similares características, el estudio contribuye a comprender de qué forma las tensiones existentes, hoy aprovechadas por procesos de articulación, pueden resultar en fragmentación del movimiento ante la interacción con las instituciones.

10.4.3.2 Hardware científico abierto en el sur global

A partir de este trabajo se constriyó una **base de datos** geográfica sobre proyectos GOSH que releva nodos de la red en contextos académicos y comunitarios, y se encuentra disponible en línea de forma abierta*.

El estudio de casos presentado en esta tesis contribuye a la comprensión de la forma que toma el movimiento del hardware científico abierto en Latinoamérica y África, no explorado anteriormente. El trabajo permite observar la dinámica de **producción de conocimiento y tecnología socialmente útiles en proyectos de HCA del sur global**, a partir de la contextualización de problemas de conocimiento durante las etapas de desarrollo, fabricación y uso de herramientas para la ciencia.

10.4.3.3 Participación en hardware científico abierto

En términos de diversidad este estudio muestra los patrones de género en proyectos de HCA, y en particular el rol clave de las mujeres en la contextualización del conocimiento y la tecnología. El rol de los espacios y su importancia para la colaboración en HCA están documentados; este trabajo contribuye empíricamente al identificar una relación directa entre espacios físicos de participación fuera de la academia y máxima diversidad de participantes en proyectos de HCA.

Por otro lado se describe la relación entre las dinámicas en los espacios *offline* y espacios *online* en proyectos de hardware científico abierto. Coincidiendo con Bonvoisin, Mies, et al. (2017a) y Stirling y Bowman (2020), se observa que aquellos proyectos con mejor documentación *online* son los que documentan procesos en lugar de publicar solo resultados. Este trabajo permite observar adicionalmente que es el desarrollo de procesos intensivos de formación de pares en el espacio *offline* el que produce la documentación de calidad como herramienta de diálogo, y que luego este material se publica *online*. Dicho de otra manera, proyectos donde la distancia epistemológica entre colaboradores es menor producen documentación

*<http://thessaly.pythonanywhere.com/>

menos inclusiva y en ocasiones incompleta, porque deben *imaginar* a quién le hablan.

10.4.3.4 Hardware científico abierto y capacidades

El estudio permitió explorar las capacidades valoradas por los proyectos de HCA en la periferia. Estas incluyen: la capacidad de producir conocimiento y/o tecnología socialmente útiles; autonomía para producir, modificar y reparar los artefactos; en el caso de los proyectos «de producto» la capacidad de comercializar los artefactos producidos; en el caso «de proceso» la capacidad de perder el miedo a la tecnología y participar en la producción de conocimiento; en los casos académicos la capacidad de producir artefactos de calidad.

La capacidad de generar un lenguaje común se observó en todos los proyectos de HCA en la periferia; capacidad que habilita el diálogo entre colaboradores diversos y que se refleja en la construcción de artefactos y conocimiento a través de los mecanismos descritos anteriormente.

10.4.3.5 Hardware científico abierto y «diseño justo»

En relación a las tecnologías este trabajo muestra que el HCA en la periferia funciona como mecanismo para la producción de diseños más «justos» en términos de Design Justice: tecnologías que redistribuyen el poder que el diseño otorga a las usuarias en un contexto específico. Se identificaron los trabajos prácticos, simbólicos y cognitivos que realizan los colaboradores en proyectos de HCA en la periferia, entre los que resaltan los trabajos de construcción de lenguaje común, los trabajos de formación de pares, los trabajos de selección de materiales y funcionalidades apropiadas a contexto, y los trabajos de reparación.

10.5 Limitaciones del estudio

Existen algunas limitaciones en el presente trabajo que deben tenerse en consideración al evaluar las implicancias. En particular, la exploración del potencial democratizador del HCA no pudo ser realizada en toda su extensión ya que el foco estuvo puesto en analizar cuatro casos de estudio en un horizonte de tiempo limitado, involucrando solo a una porción de los *stakeholders* directos en cada caso.

En primer lugar, el horizonte temporal de este trabajo no permite evaluar impactos, por lo cual el análisis sobre la construcción de capacidades es orientativo

y requiere de investigaciones a largo plazo.

En segundo lugar, las propias decisiones metodológicas implican entender al análisis de las capacidades presentado como de carácter exploratorio. Existen metodologías que podrían haberse utilizado para analizar capacidades en detalle pero que hubieran requerido concentrar todo el esfuerzo de esta tesis en esa temática (O'Donovan y Smith 2020). En este trabajo se eligió priorizar la incorporación de otras dimensiones relevantes para la democratización, como por ejemplo enmarcar las actividades de los proyectos en la práctica y las narrativas del movimiento global, o analizar la relación entre las actividades de los participantes y la agencia de los artefactos producidos.

En tercer lugar, las comunidades con las que se pudo trabajar son aquellas que tuvieron un rol activo y visible en las actividades analizadas en cada proyecto, pero muy probablemente los impactos se hayan extendido hacia otros grupos a los cuales esta investigación no pudo alcanzar.

Finalmente, incluso en el marco del propio diseño de la investigación, la pandemia de COVID-19 generó barreras para alcanzar de forma presencial algunas de las comunidades para las cuales esperaba tener acceso. Se cancelaron los planes de viaje a los casos africanos, aunque se contaba con financiamiento. Esto impidió la observación participante que sí se logró para Vuela. Si bien el material necesario para el análisis pudo completarse por medios virtuales, sin duda se perdió información contextual y de procesos, que hubiera enriquecido el análisis. Tampoco se pudo interactuar directamente con las comunidades involucradas en estos casos, como sí pudo hacerse en el otro caso comunitario.

10.6 Implicancias del estudio

10.6.1 Futuras líneas de investigación

Esta tesis expande el conocimiento disponible sobre el movimiento global de hardware científico abierto, las iniciativas asociadas en América Latina y África, y en particular los mecanismos que contribuyen a la democratización de la producción de conocimiento y tecnologías. Esto abre una serie de potenciales líneas de investigación que se detallan a continuación.

A nivel de colectivo resultaría interesante contrastar las *diferencias discursivas entre las redes regionales en el norte y en el sur*, en particular en el contexto actual en que ganan autonomía. Esto da pie también a otra posible línea interesante de

investigación, anticipada en este proyecto, que evalúe de qué forma las diferentes propuestas de incipiente *política pública* influyen en el grado de cohesión o fragmentación de GOSH como nicho; y el análisis de qué vías alternativas encauzan los discursos que no son incluidos o promovidos desde las políticas.

En términos de proyectos, una de las líneas más claras que abre esta investigación es la posibilidad de *evaluar la construcción de capacidades* especialmente en aquellas usuarias más marginalizadas del proceso de producción, a través de técnicas específicas como por ejemplo Q-method, ya utilizadas para evaluar capacidades en makerspaces (O'Donovan y Smith 2020). El análisis de las diferencias entre prácticas entre norte y sur global también es interesante en este nivel, al igual que la comparación entre proyectos «de proceso» y proyectos similares fuera de la red de GOSH, como los proyectos de extensión universitaria.

Otra de las líneas futuras que se abre está relacionada al *rol de los espacios* y su influencia en la construcción de capacidades y la diversidad de la participación; por ejemplo diferencias entre espacios extra-académicos como centros vecinales, cuya función no es el diseño ni producción de tecnología, y makerspaces. Los resultados sobre documentación también abren la posibilidad de explorar la *correlación entre procesos de formación de pares de diferente tipo y distintas calidades de documentación*.

Dentro de la academia, una de las líneas que se abren es la de *desigualdad de género* en proyectos de HCA y mecanismos que impiden la participación de mujeres en la toma de decisiones. Otras posibilidades incluyen estudiar de qué forma las prácticas de hardware científico abierto son *disruptivas de la política del conocimiento* dentro de la academia. Esta línea constituye un proyecto de postdoctorado próximo a iniciar, del que formo parte.

10.6.2 Implicancias para la práctica

Es una de las intenciones de este trabajo que las contribuciones resulten útiles a los activistas del sur global, y en alguna medida también a quienes forman parte del movimiento en el norte global.

Para el activismo, la implicancia más relevante de este trabajo es la identificación de una *posible fragmentación de GOSH* en un futuro próximo. En este sentido, las estrategias de formación de identidad descritas, alrededor de lo lúdico, pueden ser útiles para pensar cómo incorporar mecanismos que garanticen la escucha de las voces minoritarias en el movimiento, en un contexto de creciente demanda de

organización y estructura. Por otro lado, es un llamado a la reflexión sobre las interacciones entre el movimiento y las instituciones, a fin de evitar que el discurso único y «digerible» sea la vía privilegiada de acción colectiva.

La *identificación de las estrategias* del movimiento global para su consolidación tiene implicancias para las redes regionales, que pueden retomarlas como lecciones aprendidas. Yendo en particular al trabajo de la red latinoamericana reGOSH, esta información puede utilizarse para desarrollar alianzas estratégicas con potenciales «usuarias» como la red iberoamericana de ciencia participativa (RICAP) o «desarrolladores» como la creciente cantidad de jóvenes investigadores que se entusiasman fabricando herramientas propias. Pero principalmente conectando con espacios y actores extra académicos, como clubes de reparadores, espacios de educación popular, espacios de arte y ciencia, makerspaces.

La identificación de las limitaciones de los *criterios de éxito* en proyectos de HCA llama a encontrar «métricas contextualizadas», o lentes capaces de ver los aportes de diferentes tipos de prácticas dentro del movimiento. Considero que el enfoque desde el desarrollo humano que se mostró de forma incipiente en este trabajo puede ser útil para ese fin.

La identificación de *patrones de género* en los proyectos de HCA tiene implicancia directa para los proyectos, llamando a la revisión de estrategias y modos de trabajo dentro de la academia que excluyen a las mujeres de la toma de decisiones, y que en las comunidades dividen las tareas de forma diferencial. Considero que poner este problema entre las prioridades de trabajo de las redes regionales resulta de mayor importancia para acortar la distancia entre el discurso global y la práctica local; desarticular las prácticas excluyentes también va a abrir intercambios y escuchas que pueden ser útiles en sentidos no anticipados.

Otra de las implicancias de este trabajo está relacionada a las *limitadas herramientas para la colaboración* en HCA como uno de los cuellos de botella relevantes. Algunos equipos en Inglaterra y Estados Unidos se encuentran desarrollando software de código abierto para este fin; tener voz en este proceso es importante para las redes regionales ya que permitiría a los proyectos locales acceder a mejores herramientas.

10.6.3 Implicancias de políticas

Desde el inicio de este trabajo en 2016 hasta ahora, el contacto entre GOSH y la institucionalidad se hizo cada vez más frecuente. Como se mencionó anteriormente,

una de las potenciales consecuencias de estas interacciones es la fragmentación del nicho ante políticas que refuercen solo una de las visiones dentro del movimiento.

La implicancia más fuerte para la política de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) en este sentido es el llamado a pensar la apertura como transversal a actores dentro y fuera de la academia; las propuestas más radicales de GOSH, que a su vez son las menos visibles, tienen que tener un lugar en la mesa de discusión de políticas sobre hardware científico abierto.

En la academia, incentivos al trabajo interdisciplinario, evaluación de proyectos de HCA en términos de capacidades, capacitación de las oficinas de transferencia en uso de licencias abiertas, son algunas de las claves. Pero en particular, la promoción del HCA en otros ámbitos por fuera de la academia, la adopción de lineamientos para la documentación, la creación de repositorios con diseños «curados», pueden abrir una vía transformadora. Algunos ejemplos concretos incluyen: la promoción del desarrollo de HCA desde los IPAF para facilitar procesos de codiseño en la agricultura familiar; el uso de HCA en las escuelas secundarias técnicas como herramienta de aprendizaje; incluir habilidades de desarrollo y uso de HCA en capacitaciones a pequeños y medianos emprendedores, promover conexiones con la industria que permitan transformar prototipos abiertos en productos, por ejemplo a través del punto de partida del proyecto CIAA. Estas líneas se están trabajando tanto desde la comunidad global GOSH como desde el movimiento regional, [reGOSH](#).

10.7 Conclusión del capítulo

Este capítulo presentó la conclusión del trabajo de tesis, cuyo objetivo fue explorar las contribuciones del hardware científico abierto a la democratización de la producción de conocimiento en la periferia. Se realizó una síntesis del recorrido que permitió construir la pregunta de investigación, seguido del resumen de las respuestas a las tres preguntas específicas planteadas en este trabajo.

El capítulo detalló las contribuciones del trabajo en términos teóricos, metodológicos y empíricos, que incluyen la combinación del marco teórico de transiciones sociotécnicas con miradas desde los estudios feministas de la tecnología, la aplicación de metodologías de ciencia abierta a una investigación de tipo cualitativo, y contribuciones empíricas sobre el movimiento global y sus estrategias, y sobre patrones de participación, diversidad, trabajos y construcción de capacidades en los estudios de caso.

Considerando las limitaciones del estudio, el capítulo cierra con las implicancias del trabajo en términos de futuras líneas de investigación, donde se identifican temas a profundizar en términos del movimiento global y las redes regionales, las dinámicas del HCA en la academia respecto de las políticas del conocimiento, y las capacidades construidas por proyectos de HCA comunitario, entre otras. Las implicancias para la práctica muestran que el trabajo proporciona información de utilidad para los activistas que buscan expandir el HCA en la periferia, sistematizando lecciones del movimiento global, dirigiendo la atención a las estrategias probadas más útiles y alertando sobre dinámicas de poder hacia dentro del movimiento. Finalmente, las implicancias de políticas proporcionan ideas para la promoción del HCA tanto dentro como fuera del ámbito académico, mostrando el rol clave de las instituciones en el potencial transformador de la práctica de hardware científico abierto en la transición hacia sistemas de producción de conocimiento más democráticos.

Referencias

Aedo, Tania. 2019. «Tracking Hack-Style Interdisciplinary Processes at Laboratorio Arte Alameda, Mexico City». En *Art Hack Practice*, editado por Victoria Bradbury y Suzy O'Hara, First, 197-204. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781351241212-19>.

Agyeman, Julian, David Schlosberg, Luke Craven, y Caitlin Matthews. 2016. «Trends and Directions in Environmental Justice: From Inequity to Everyday Life, Community, and Just Sustainabilities». *Annual Review of Environment and Resources* 41 (1): 321-40. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-090052>.

Akrich, Madeleine. 1992. «The De-Description of Technical Objects». En.

Albornoz, Denisse, Maggie Huang, Issra Marie Martin, Maria Mateus, Aicha Yasmine Touré, y Leslie Chan. 2018. «Framing Power: Tracing Key Discourses in Open Science Policies». En *22nd International Conference on Electronic Publishing*. OpenEdition Press. <https://doi.org/10.4000/proceedings.elpub.2018.23>.

Alecchi, Beatrice, Jessica Cajo, Carlos Vílchez-Román, y Gemma Pezo Pantigoso. 2018. «FACTORES QUE INFLUYEN EN EL INGRESO, PARTICIPACIÓN Y DESARROLLO DE LAS MUJERES EN CARRERAS VINCULADAS A LA CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN». Lima: CENTRUM.

Alonso, Mauro Ricardo; Naidorf, y Judith Naidorf. 2019. «La Utilidad Social Del Conocimiento Como Dimensión Del Análisis de Los Procesos de Producción y Uso Del Conocimiento Científico.» En *Ciencia, Tecnología y Sociedad En América Latina: La Mirada de Las Nuevas Generaciones*.

Anderson, Chris. 2012. *MAKERS. The New Industrial Revolution*. New York: Crown Business.

Appadurai, Arjun, ed. 1986. *The Social Life of Things: Commodities in Cultural Perspective*. Cambridge [Cambridgeshire] ; New York: Cambridge University Press.

Ask, Kristine, y Knut H. Sørensen. 2019. «Domesticating Technology for Shared Success: Collective Enactments of World of Warcraft». *Information, Communication & Society* 22 (1): 73-88. <https://doi.org/10.1080/1369118X.2017.1355008>.

Ayass, Myriam, y Javier Serrano. 2012. «The CERN Open Hardware Licence». *International Free and Open Source Software Law Review*, 71-78. <https://doi.org/10.5033/ifosslr.v4i1.65>.

Baden, Tom, Andre Maia Chagas, Greg Gage, Timothy Marzullo, Lucia L. Prieto-Godino, y Thomas Euler. 2015. «Open Labware: 3-D Printing Your Own Lab Equipment». *PLoS Biology* 13 (3): 1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002086>.

Bakhtin, M. M. 1984. *Rabelais and his world*. 1st Midland book ed. Bloomington: Indiana University Press.

Balka, Kerstin, Christina Raasch, y Cornelius Herstatt. 2013. «The Effect of Selective Openness on Value Creation in User Innovation Communities: Selective Openness and Value Creation by Users». *Journal of Product Innovation Management* 31 (2): 392-407. <https://doi.org/10.1111/jpim.12102>.

———. 2009. «Open Source Enters the World of Atoms: A Statistical Analysis of Open Design». *First Monday* 14 (11). <https://doi.org/10.5210/fm.v14i11.2670>.

Barandiaran D., X.; Vila-Viñas. 2015. «The FLOK Doctrine». *The Journal of Peer Production*, n.º 7.

Barragán, Hernando. 2016. «The Untold History of Arduino». <https://arduinohistory.github.io/>.

Bauwens, Michel. 2011. «Why Is Open Hardware Inherently Sustainable». *Peer to Peer Foundation Wiki*.

Bello, Mariana Eva Di. 2015. «Utilidad social de conocimientos científicos, grupos de investigación académicos y problemas sociales». *Cuestiones de sociología*, n.º 12 (julio).

Benford, Robert D., y David A. Snow. 2000. «Framing Processes and Social Movements: An Overview and Assessment». *Annual Review of Sociology* 26 (1): 611-39. <https://doi.org/10.1146/annurev.soc.26.1.611>.

Benichou, Leo, y Benjamin Tincq. 2014. «Business Models for Open Source Hardware».

Benkler, Yochai. 2006. *The Wealth of Networks: How Social Production*

Transforms Markets and Freedom. Vol. 7. New Haven [Conn.], USA: Yale University Press. <https://doi.org/10.1177/0894439307301373>.

Berchon, Mathilde. 2013. «The State of Open Hardware Entrepreneurship 2013».

Bijker, Wiebe E. 1995. *Of Bicycles, Bakelites, and Bulbs*. Cambridge, MA: MIT Press.

Bijker, Wiebe, y Trevor Pinch. 1987. «La Construcción Social de Hechos y de Artefactos: O Acerca de Cómo La Sociología de La Ciencia y La Sociología de La Tecnología Pueden Beneficiarse Mutuamente», 9-46.

Bogad, L. M. 2016. *Tactical Performance: The Theory and Practice of Serious Play*. Milton Park, Abingdon, Oxon ; New York: Routledge.

Boni, Alejandra, y Melanie Walker. 2016. *Universities and Global Human Development: Theoretical and Empirical Insights for Social Change*.

Bonvoisin, Jérémy, Tom Buchert, Maurice Preidel, y Rainer G. Stark. 2018a. «How Participative Is Open Source Hardware? Insights from Online Repository Mining». *Design Science* 4 (E19). <https://doi.org/doi:10.1017/dsj.2018.15>.

———. 2018b. «How Participative Is Open Source Hardware? Insights from Online Repository Mining». *Design Science* 4: e19. <https://doi.org/10.1017/dsj.2018.15>.

Bonvoisin, Jérémy, y Robert Mies. 2018. «Measuring Openness in Open Source Hardware with the Open-o-Meter». *Procedia CIRP* 78: 388-93. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.08.306>.

Bonvoisin, Jérémy, Robert Mies, Jean-François Boujut, y Rainer Stark. 2017a. «What Is the “Source” of Open Source Hardware?» *Journal of Open Hardware* 1 (1). <https://doi.org/10.5334/joh.7>.

———. 2017b. «What Is the “Source” of Open Source Hardware?» *Journal of Open Hardware* 1 (1). <https://doi.org/10.5334/joh.7>.

Bonvoisin, Jérémy, Jenny Molloy, Martin Haeuer, y Tobias Wenzel. 2020. «Standardisation of Practices in Open Source Hardware». *arXiv:2004.07143 [physics]*, abril. <https://doi.org/10.5334/joh.22>.

Bordignon, Fernando Raúl Alfredo, y Alejandro Adrián Iglesias. 2015. *Diseño y Construcción de Objetos Interactivos Digitales: Experimentos Con La Plataforma Arduino*. UNIPE: Editorial Universitaria.

Bowser, Anne, Alex Long, Alexandra Novak, Alison Parker, y Michael Weinberg. 2021. «Stitching Together a Solution: Lessons from the Open Source Hardware Response to COVID-19 | Wilson Center». The Wilson Center.

Bozeman, Barry, y Daniel Sarewitz. 2005. «Public Values and Public Failure in US Science Policy». *Science and Public Policy* 32 (2): 119-36. <https://doi.org/10.3152/147154305781779588>.

Brazil, Rachel. 2018. «Open-Science Hardware in the Developing World». *Physics World*.

Buechley, Leah, y Benjamin Mako Hill. 2010. «LilyPad in the Wild: How Hardware's Long Tail Is Supporting New Engineering and Design Communities». En *Conference on Designing Interactive Systems*.

Bush, Vannevar, y Rush Dew Holt. 2021. *Science, the Endless Frontier*. Princeton: Princeton University Press.

Carrasco-Escobar, Gabriel, Kimberly Fornace, Daniel Wong, Pierre G. Padilla-Huamantínco, Jose A. Saldaña-Lopez, Ober E. Castillo-Meza, Armando E. Caballero-Andrade, et al. 2020. «Open-Source 3D Printable GPS Tracker to Characterize the Role of Human Population Movement on Malaria Epidemiology in River Networks: A Proof-of-Concept Study in the Peruvian Amazon». *Front. Public Health* 8. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.526468>.

Chagas, André Maia. 2018. «Haves and Have Nots Must Find a Better Way: The Case for Open Scientific Hardware». *PLOS Biology* 16 (9): e3000014. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000014>.

Chesbrough, H, W Vanhaverbeke, y J West. 2006. *Open Innovation. Researching a New Paradigm*. Oxford: Oxford University Press.

Chilvers, Jason, y Matthew Kearnes. 2019. «Remaking Participation in Science and Democracy:» *Science, Technology, & Human Values*, junio. <https://doi.org/10.1177/0162243919850885>.

Ciarli, Tommaso, y Ismael Ràfols. 2019. «The Relation between Research Priorities and Societal Demands: The Case of Rice». *Research Policy* 48 (4): 949-67. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.10.027>.

Coakley, M, y D E Hurt. 2016. «3D Printing in the Laboratory: Maximize Time and Funds with Customized and Open-Source Labware». *J Lab Autom* 21 (4): 489-95. <https://doi.org/10.1177/2211068216649578>.

Coleman, E. G., y A. Golub. 2008. «Hacker Practice: Moral Genres and the Cultural Articulation of Liberalism». *Anthropological Theory* 8 (3): 255-77. <https://doi.org/10.1177/1463499608093814>.

Coleman, Gabriella. 2004. «The Political Agnosticism of Free and Open Source Software and the Inadvertent Politics of Contrast». *Anthropological Quarterly* 77 (3): 507-19. <https://doi.org/10.1353/anq.2004.0035>.

Collins, H. M., y Robert Evans. 2002. «The Third Wave of Science Studies: Studies of Expertise and Experience». *Social Studies of Science* 32 (2): 235-96. <https://doi.org/10.1177/0306312702032002003>.

Collins, Joel T., Joe Knapper, Julian Stirling, Joram Mduda, Catherine Mkindi, Valeriana Mayagaya, Grace A. Mwakajinga, et al. 2020a. «Robotic Microscopy for Everyone: The OpenFlexure Microscope». *Biomedical Optics Express* 11 (5): 2447-60. <https://doi.org/10.1364/BOE.385729>.

———. 2020b. «Robotic Microscopy for Everyone: The OpenFlexure Microscope». *Biomed. Opt. Express, BOE* 11 (5): 2447-60. <https://doi.org/10.1364/BOE.385729>.

Community, Global Open Science Hardware (GOSH). 2016. «GOSH Manifesto». *Gathering for Open Science Hardware*. <http://openhardware.science/gosh-manifesto/>.

———. 2018. «GOSH Roadmap».

Costanza-Chock, Sasha. 2020. *Design Justice: Community-Led Practices to Build the Worlds We Need*. Information Policy. Cambridge, MA: The MIT Press.

Cowan, R S, ed. 1987. «The Consumption Junction: A Proposal for Research Strategies in the Sociology of Technology». En *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*. Cambridge, Mass: MIT Press.

Creswell, John W. 2009. *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. 3rd ed. Thousand Oaks, Calif: Sage Publications.

Crotty, Michael. 1998. *The Foundations of Social Research: Meaning and Perspective in the Research Process*. London ; Thousand Oaks, Calif: Sage Publications.

Crowston, Kevin, y James Howison. 2005. «The Social Structure of Free and Open Source Software Development». *First Monday* 10 (2). <https://doi.org/10.5210/fm.v10i2.1207>.

Cybulski, James S., James Clements, y Manu Prakash. 2014. «Foldscope: Origami-Based Paper Microscope». Editado por Lennart Martens. *PLoS ONE* 9 (6): e98781. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0098781>.

Damase, Tulsi R., Daniel Stephens, Adam Spencer, y Peter B. Allen. 2015. «Open Source and DIY Hardware for DNA Nanotechnology Labs». *Journal of Biological Methods* 2 (3): e24. <https://doi.org/10.14440/jbm.2015.72>.

Davis, Carleigh. 2016. «Hacking the Hacktivist: An Examination of Gendered Social Activism in Digital Spaces». *English and Technical Communication Faculty Research & Creative Works*, abril.

de Bruijn, Erik. 2010. «On the Viability of the Open Source Development Model for the Design of Physical Objects [Unpublished Master's Thesis]. University of Tilburg.» Tesis doctoral, The Netherlands: University of Tilburg.

Delfanti, Alessandro. 2012. «Tweaking Genes in Your Garage: Biohacking between Activism and Entrepreneurship». En *Activist Media and Biopolitics*. Innsbruck university press.

Dosemagen, Shannon, Max Liboiron, y Jenny Molloy. 2017a. «Gathering for Open Science Hardware 2016». *Journal of Open Hardware* 1 (1): 4. <https://doi.org/10.5334/joh.5>.

———. 2017b. «Gathering for Open Science Hardware 2016». *Journal of Open Hardware* 1 (1). <https://doi.org/10.5334/joh.5>.

Dougherty, Dale. 2012. «The Maker Movement». *Innovations: Technology, Governance, Globalization* 7 (3): 11-14. https://doi.org/10.1162/INOV_a_00135.

Douglas, Mary, y Baron Isherwood. 1979. *The World of Goods: Towards an Anthropology of Consumption*. Harmondsworth.

Draux, Helene, Simon Porter, Ricarda Beck, y Suze Kundu. 2019. «Gender Representation in UK Research Institutions». Digital science.

Dryden, Michael D. M., Ryan Fobel, Christian Fobel, y Aaron R. Wheeler. 2017. «Upon the Shoulders of Giants: Open-Source Hardware and Software in Analytical Chemistry». *Analytical Chemistry* 89 (8): 4330-8. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.7b00485>.

Economist, The. 2017. «Do-It-Yourself Science Is Taking Off». *The Economist*.

Ely, Adrian, Adrian Smith, Andy Stirling, Melissa Leach, y Ian Scoones.

2013. «Innovation Politics Post-Rio+20: Hybrid Pathways to Sustainability?» *Environment and Planning C: Government and Policy* 31 (6): 1063-81. <https://doi.org/10.1068/c12285j>.

Eric von Hippel. 2005. *Democratizing Innovation*. The MIT press.

Escobar, Arturo. 2016. *Autonomía y Diseño: La Realización de Lo Comunal*. Primera edición en castellano. Popayán, Colombia: Editorial Universidad del Cauca.

———. 2018. *Designs for the Pluriverse: Radical Interdependence, Autonomy, and the Making of Worlds*. New Ecologies for the Twenty-First Century. Durham: Duke University Press.

Fals Borda, Orlando. 1979. «Investigating Reality in Order to Transform It: The Colombian Experience». *Dialectical Anthropology* 4 (1): 33-55.

Feenberg, Andrew. 1989. *Questining Technology*. Vol. 53. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

Forbes. 2018. «Profile: Josef Prusa». <https://www.forbes.com/profile/josef-prusa/>.

Forlano, Laura. 2016. «Hacking the Feminist Disabled Body». *Journal of Peer Production*, n.º 8.

Freire, Paulo. 1973. *Pedagogía del oprimido*. Siglo XXI.

Fressoli, Mariano. 2017. «The Appropriate Technology Movement in Latin America». En *Grassroot Innovation Movements*. Routledge.

Fressoli, Mariano, y Elisa Arond. 2015. «Technology for Autonomy and Resistance: The Appropriate Technology Movement in South America». Brighton: STEPS Centre.

Fressoli, Mariano, y Adrian Smith. 2015. «Impresiones 3D: Fabricación Digital Una Nueva Revolución Tecnológica?» *Integración & comercio* 39: 122-25.

Frickel, Scott, y Kelly Moore, eds. 2006. *The New Political Sociology of Science: Institutions, Networks, and Power*. Science and Technology in Society. Madison, Wis.: University of Wisconsin Press.

Geels, Frank W. 2002. «Technological Transitions as Evolutionary Reconfiguration Processes: A Multi-Level Perspective and a Case-Study». *Research Policy* 31: 1257-74. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8).

———. 2004. «From Sectoral Systems of Innovation to Socio-Technical Systems

Insights about Dynamics and Change from Sociology and Institutional Theory» 33: 897-920. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.01.015>.

Geels, Frank W, y Johan Schot. 2007. «Typology of Sociotechnical Transition Pathways» 36 (January): 399-417. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003>.

Gibb, Alicia, ed. 2014a. *Building Open Source Hardware: DIY Manufacturing for Hackers and Makers*. O'Reilly Media, Inc.

———. 2014b. «Making a Derivative». En *Making a Derivative*.

Gibbons, Michael, ed. 1994. *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*. London ; Thousand Oaks, Calif: SAGE Publications.

GOSH. 2019. «GOSH 2018 Shenzhen - Community Report».

GOSH community. 2018. *Global Open Science Hardware (GOSH) Community Roadmap*.

Grin, John, Jan Rotmans, Johan Schot, Frank W. Geels, y Derk Loorbach. 2011. *Transitions to Sustainable Development: New Directions in the Study of Long Term Transformative Change*. First issued in paperback. Routledge Studies in Sustainability Transitions 1. New York London: Routledge.

Guido, Luciana, y Mariana Versino. 2016. «Despliegue Territorial de Un Desarrollo de Hardware “Libre” Aplicado a La Industria: El Caso de La CIAA». *HS- Horizontes Sociológicos- AAS* 4 (8): 104-19.

Guston, David H. 1999. «Evaluating the First U.S. Consensus Conference: The Impact of the Citizens' Panel on Telecommunications and the Future of Democracy». *Science, Technology, & Human Values* 24 (4): 451-82. <https://doi.org/10.1177/016224399902400402>.

Haklay, Muki. 2013. «Citizen Science and Volunteered Geographic Information: Overview and Typology of Participation». En *Crowdsourcing Geographic Knowledge*, editado por Daniel Sui, Sarah Elwood, y Michael Goodchild, 105-22. Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4587-2_7.

Hargreaves, Tom, Sabine Hielscher, Gill Seyfang, y Adrian Smith. 2013. «Grassroots Innovations in Community Energy: The Role of Intermediaries in Niche Development». *Global Environmental Change* 23 (5): 868-80. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.02.008>.

Hatch, Mark. 2014. *The Maker Movement Manifesto: Rules for Innovation in the New World of Crafters, Hackers, and Tinkerers*. New York: McGraw-Hill Education.

Heikkinen, I. T. S., H. Savin, J. Partanen, J. Seppälä, y J. M. Pearce. 2020. «Towards National Policy for Open Source Hardware Research: The Case of Finland». *Technological Forecasting and Social Change* 155 (junio): 119986. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119986>.

Heilbroner, Robert L. 1967. «Do Machines Make History?» *Technology and Culture* 8 (3): 335. <https://doi.org/10.2307/3101719>.

Heradio, Ruben, Jesus Chacon, Hector Vargas, Daniel Galan, Jacobo Saenz, Luis De La Torre, y Sebastian Dormido. 2018. «Open-Source Hardware in Education: A Systematic Mapping Study». *IEEE Access* 6: 72094-72103. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2881929>.

Hertz, G. 2011. «Arduino Microcontrollers and the Queen's Hamlet: Utilitarian and Hedonized DIY Practices in Contemporary Digital Culture.» En *Proceedings of the 31st Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ARCADIA)*.

Hess, David. 2007. *Alternative Pathways in Science and Industry. Activism, Innovation and the Environment in the Era of Globalization*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Hess, David, Steve Breyman, Nancy Campbell, y Brian Martin. 2007. «Science, Technology, and Social Movements». En *The Handbook of Science and Technology Studies*, 26. MIT Press.

Hess, David J. 2016. *Undone Science: Social Movements, Mobilized Publics, and Industrial Transitions*. Cambridge, MA: MIT Press.

Hill, Andrew P., Alasdair Davies, Peter Prince, Jake L. Snaddon, C. Patrick Doncaster, y Alex Rogers. 2019. «Leveraging Conservation Action with Open-Source Hardware». *Conservation Letters* 12 (5): e12661. <https://doi.org/10.1111/conl.12661>.

Himanen, Pekka. 2001. *The Hacker Ethic and the Spirit of the Information Age*. Vol. 2.2.

Hirsch, Eric, y Roger Silverstone. 2003. *Consuming Technologies: Media and Information in Domestic Spaces*.

Hoogma, Remco, René Kemp, Johan Schot, y Bernhard Truffer. 2002.

Experimenting for Sustainable Transport. The Approach of Strategic Niche Management. Spon Press.

Hughes, Thomas P. 1986. «The Seamless Web: Technology, Science, Etcetera, Etcetera». *Social Studies of Science* 16 (2): 281-92. <https://doi.org/10.1177/0306312786016002004>.

Jasanoff, Sheila. 2003. *States of Knowledge: The Co-Production of Science and the Social Order.* Hoboken: Taylor and Francis.

Kahl, Linda, Jennifer Molloy, Nicola Patron, Colette Matthewman, Jim Haseloff, David Grewal, Richard Johnson, y Drew Endy. 2018. «Opening Options for Material Transfer». *Nature Biotechnology* 36 (10): 923-27. <https://doi.org/10.1038/nbt.4263>.

Karvinen, Kimmo, y Tero Karvinen. 2011. *Make Arduino Bots and Gadgets: Learning by Discovery.* Sebastopol, Calif.: O'Reilly.

Katz, A. 2012. «Towards a Functional Licence for Open Hardware». *International Free and Open Source Software Law Review*. <https://doi.org/10.5033/ifosslr.v4i1.65>.

Katz, Andrew. 2019. «A Survey of Open Processor Core Licensing». *International Free and Open Source Software Law Review* 10 (1): 26.

Kauttu, Pietari, y Luis Felipe Murillo. 2017. «Open Hardware as an Experimental Innovation Platform: Preliminary Research Questions and Findings». *CERN IdeaSquare Journal of Experimental Innovation*, junio, 26 Pages. <https://doi.org/10.23726/CIJ.2017.462>.

Kenny, Catherine, Max Liboiron, y Sara Ann Wylie. 2019. «Seeing Power with a Flashlight: DIY Thermal Sensing Technology in the Classroom». *Social Studies of Science* 49 (1): 3-28. <https://doi.org/10.1177/0306312718823282>.

Kera, Denisa. 2015. «Open Source Hardware (OSHW) for Open Science in the Global South: Geek Diplomacy?» En *Open Science, Open Issues*, 292. Brasilia: IBICT.

———. 2017. «Science Artisans and Open Science Hardware». *Bulletin of Science, Technology & Society* 37 (2): 97-111. <https://doi.org/10.1177/0270467618774978>.

Kera, Denisa, Hermes Huang, Irene Agrivine, y Tommy Surya. 2019. «Open Science Hardware (OSH) for Development: Transnational Networks and Local Tinkering in Southeast Asia». En *Contextualizing Openness: Situating Open*

Science. Perspectives on Open Access. Ottawa: University of Ottawa Press.

Kimura, Aya H. 2019. «Citizen Science in Post-Fukushima Japan: The Gendered Scientization of Radiation Measurement». *Science as Culture* 28 (3): 327-50. <https://doi.org/10.1080/09505431.2017.1347154>.

Kimura, Aya H., y Abby Kinchy. 2016. «Citizen Science: Probing the Virtues and Contexts of Participatory Research». *Engaging Science, Technology, and Society* 2 (0): 331-61. <https://doi.org/10.17351/ests2016.99>.

King, Nigel. 2004. «Using Templates in the Thematic Analysis of Text». En *Essential Guide to Qualitative Methods in Organizational Research*. London ; Thousand Oaks: SAGE Publications.

Kleinman, D. L. 2000. «Democratizations of Science and Technology». En *Science, Technology & Democracy*.

Koch, Michael, y Irem Tumer. 2009. «Towards Open Design: The Emergent Face of Engineering—A Position Paper». En *DS 58-3: Proceedings of ICED 09*, 3:97-108. ICED. Palo Alto, CA.

Kohtala, Cindy. 2015. «Addressing Sustainability in Research on Distributed Production: An Integrated Literature Review». *Journal of Cleaner Production* 106 (noviembre): 654-68. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.039>.

Kreimer, Pablo. 2006. «Dependientes o Integrados? La Ciencia Latinoamericana y La Nueva División Internacional Del Trabajo». *Nómadas (Col)*, n.º 24: 199-213.

Kreimer, Pablo, y Juan Pablo Zabala. 2006. «Qué conocimiento y para quién? Problemas sociales, producción y uso social de conocimientos científicos sobre la enfermedad de Chagas en Argentina». *Redes*, marzo.

Kuznetsov, Stacey, y Eric Paulos. 2010. «Rise of the Expert Amateur: DIY Projects, Communities, and Cultures». En *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction Extending Boundaries - NordiCHI '10*, 295. Reykjavik, Iceland: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1868914.1868950>.

Latour, Bruno. 1990. «Technology Is Society Made Durable». *The Sociological Review* 38 (1_suppl): 103-31. <https://doi.org/10.1111/j.1467-954X.1990.tb03350.x>.

Leach, Melissa, Ian Scoones, y Andy Stirling. 2010. *Dynamic Sustainabilities: Technology, Environment, Social Justice*. Pathways to Sustainability. London ; Washington, DC: Earthscan.

Lengwiler, Martin. 2008. «Participatory Approaches in Science and Technology: Historical Origins and Current Practices in Critical Perspective». *Science, Technology, & Human Values* 33 (2): 186-200. <https://doi.org/10.1177/0162243907311262>.

Levy, Steven. 1984. *Hackers: Heroes of the Computer Revolution - 25th Anniversary Edition*. "O'Reilly Media, Inc."

Li, Zhuoxuan, Warren Seering, y David Wallace. 2018. «Understanding Value Propositions and Revenue Models in Open Source Hardware Companies.» En *International Conference on Innovation and Entrepreneurship*.

Lie, Merete, y Knut Sørensen. 1996. *Making Technology Our Own? Domesticating Technology into Everyday Life*. 2. opplag. Oslo: Scandinavian Univ. Press.

Lincoln, Y, S Lynham, y E Guba. 2018. «Paradigmatic Controversies, Contradictions, and Emerging Confluences, Revisited». En *The SAGE Handbook of Qualitative Research*, Fifth edition. Los Angeles London New Delhi Singapore Washington DC Melbourne: SAGE.

Malinen, Tiina, Teemu Mikkonen, Vesa Tienvieri, y Tere Vad. s. f. «Open Source Hardware through Volunteer Community: A Case Study of eCars – Now!», 4.

Martin, Brian. 2006. «Strategies for Alternative Science». En *The New Political Sociology of Science: Institutions, Networks, and Power*. Science and Technology in Society. Madison, Wis.: University of Wisconsin Press.

Maxigas, Peter. 2014. «Hacklabs and Hackerspaces: Tracing Two Genealogies». *Journal of Peer Production* 2.

McCarthy, John D., y Mayer N. Zald. 1977. «Resource Mobilization and Social Movements: A Partial Theory». *American Journal of Sociology* 82 (6): 1212-41. <https://doi.org/10.1086/226464>.

McKiernan, Erin C, Philip E Bourne, C Titus Brown, Stuart Buck, Amye Kenall, Jennifer Lin, Damon McDougall, et al. 2016. «How Open Science Helps Researchers Succeed». Editado por Peter Rodgers. *eLife* 5 (julio): e16800. <https://doi.org/10.7554/eLife.16800>.

Mellis. 2014. «Personal Manufacturing in the Digital Age». En *Building Open Source Hardware: DIY Manufacturing for Hackers and Makers*.

Mellis, David A., y Leah Buechley. 2011. «Scaffolding Creativity with Open-Source Hardware». En *Proceedings of the 8th ACM Conference on*

Creativity and Cognition - C&C '11, 373. Atlanta, Georgia, USA: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/2069618.2069702>.

———. 2012. «Collaboration in Open-Source Hardware: Third-Party Variations on the Arduino Duemilanove».

Mgbeoji, Ikechi. 2014. *Global Biopiracy: Patents, Plants, and Indigenous Knowledge*. UBC Press.

Mies, Robert, Jérémy Bonvoisin, y Roland Jochem. 2018. «Harnessing the Synergy Potential of Open Source Hardware Communities». En *Co-Creation: Reshaping Business and Society in the Era of Bottom-up Economics*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg.

Moritz, Manuel, Tobias Redlich, Patrick Grames, y Jens Wulfsberg. 4d. C. «Value Creation in Open-Source Hardware Communities: Case Study of Open Source Ecology». En *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*. Honolulu, HI, USA: IEEE.

Morreale, Fabio, Giulio Moro, Alan Chamberlain, Steve Benford, y Andrew P. McPherson. 2017. «Building a Maker Community Around an Open Hardware Platform». En *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '17*, 6948-59. Denver, Colorado, USA: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/3025453.3026056>.

Murillo, Luis Felipe R. 2016. «New Expert Eyes Over Fukushima: Open Source Responses to the 3/11 Disaster in Japan». *Anthropological Quarterly* 89 (2): 399-429. <https://doi.org/10.1353/anq.2016.0027>.

———. 2018. «Assembling Open Hardware at CERN». *SocArXiv*. <https://doi.org/10.31235/osf.io/tqwef>.

Nelson, Richard R., y Sidney G. Winter. 1982. *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Digitally reprinted. Cambridge, Mass.: The Belknap Press of Harvard Univ. Press.

Nguyen, Josef. 2016. «Make Magazine and the Social Reproduction of DIY Science and Technology». *Cultural Politics* 12 (2): 233-52. <https://doi.org/10.1215/17432197-3592124>.

Nowotny, Helga. 2003. «Democratising Expertise and Socially Robust Knowledge». *Science and Public Policy* 30 (3): 151-56. <https://doi.org/10.3152/147154303781780461>.

Nussbaum, Martha C. 2011. *Creating Capabilities: The Human Development Approach*. Cambridge, Mass: Belknap Press of Harvard University Press.

Oberloier, Shane, y Joshua Pearce. 2017. «General Design Procedure for Free and Open-Source Hardware for Scientific Equipment». *Designs* 2 (1): 2. <https://doi.org/10.3390/designs2010002>.

Oberschall, Anthony. 1973. *Social Conflict and Social Movements*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

O'Donovan, Cian, y Adrian Smith. 2020. «Technology and Human Capabilities in UK Makerspaces». *Journal of Human Development and Capabilities* 21 (1): 63-83. <https://doi.org/10.1080/19452829.2019.1704706>.

Okune, Angela. 2020. «Open Ethnographic Archiving as Feminist, Decolonizing Practice». *Catalyst: Feminism, Theory, Technoscience* 6 (2). <https://doi.org/10.28968/cftt.v6i2.33041>.

Opsomer, Thomas. 2020. «Fixers Know What “Repairable” Means Now There’s a Standard for It». *iFixit*. <https://www.ifixit.com/News/35879/repairability-standard-en45554>.

OSHW. 2010. «Open Source Hardware Definition (English)». *Open Source Hardware Association*. <https://www.oshwa.org/definition/>.

(OSHW), Open Source Hardware Association. 2013a. «Best Practices for Open-Source Hardware 1.0». <https://perma.cc/L7M9-TVEV>.

———. 2013b. «OSHW Community Survey 2012». *Open Source Hardware Association*. <https://www.oshwa.org/oshw-community-survey-2012/>.

———. 2014. «OSHW Community Survey 2013». <https://www.oshwa.org/oshw-community-surve>

Ottinger, Gwen. 2010. «Buckets of Resistance: Standards and the Effectiveness of Citizen Science». *Science, Technology, & Human Values* 35 (2): 244-70. <https://doi.org/10.1177/0162243909337121>.

Oudshoorn, N., y T. Pinch. 2005. «How Users and Non-Users Matter». *How Users Matter: The Co-Construction of Users and*, 360. <https://doi.org/10.1287/isre.1030.0016>.

Parker, Alison, Shannon Dosemagen, Jenny Molloy, Anne Bowser, y Alexandra Novak. 2021. «Open Hardware: An Opportunity to Build Better Science | Wilson Center». The Wilson Center.

Parker, y Novak. 2020a. «Building Blocks for Better Science: Case Studies in Low-Cost and Open Tools for Science». Science and Technology Innovation Program. Wilson Center.

Parker, y Novak. 2020b. «Building Blocks for Better Science: Case Studies in Low-Cost and Open Tools for Science». Wilson Center.

Pearce, J. M. 2012. «Building Research Equipment with Free, Open-Source Hardware». *Science* 337 (6100): 1303-4. <https://doi.org/10.1126/science.1228183>.

———. 2016. «Return on Investment for Open Source Scientific Hardware Development». *Science and Public Policy* 43 (2): 192-95. <https://doi.org/10.1093/scipol/scv034>.

Pearce, Joshua. 2014. «Building Open Source Hardware in Academia». En *Building Open Source Hardware: DIY Manufacturing for Hackers and Makers*.

———. 2018. «Sponsored Libre Research Agreements to Create Free and Open Source Software and Hardware». *Inventions* 3 (3): 44. <https://doi.org/10.3390/inventions3030044>.

Pearce, Joshua M. 2020. «Economic Savings for Scientific Free and Open Source Technology: A Review». *HardwareX* 8 (octubre): e00139. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2020.e00139>.

Pearce, Joshua M. 2015. «Quantifying the Value of Open Source Hard-Ware Development». *Modern Economy* 06 (01): 1-11. <https://doi.org/10.4236/me.2015.61001>.

———. 2017. «Emerging Business Models for Open Source Hardware». *Journal of Open Hardware* 1 (1): 2. <https://doi.org/10.5334/joh.4>.

———. 2017. «Impacts of Open Source Hardware in Science and Engineering». *The Bridge, National Academy of Sciences*, 8.

Pellicer-Sifres, Victoria, Sergio Belda-Miquel, Aurora López-Fogués, y Alejandra Boni Aristizábal. 2017. «Grassroots Social Innovation for Human Development: An Analysis of Alternative Food Networks in the City of Valencia (Spain)». *Journal of Human Development and Capabilities* 18 (2): 258-74. <https://doi.org/10.1080/19452829.2016.1270916>.

Powell, A. 2012. «Democratizing Production through Open Source Knowledge: From Open Software to Open Hardware». *Media, Culture & Society* 34 (6): 691-708. <https://doi.org/10.1177/0163443712449497>.

Powell, Alison. 2012. «Democratizing Production through Open Source Knowledge: From Open Software to Open Hardware». *Media Culture & Society* 34 (6): 691-708. <https://doi.org/10.1177/0163443712449497>.

Powell, Alison B. 2015. «Open Culture and Innovation: Integrating Knowledge across Boundaries». *Media Culture & Society* 37 (3): 376-93. <https://doi.org/10.1177/0163443714567169>.

Quintero, Oscar Alejandro. 2016. «The Increasing Exclusion of Women of Universidad Nacional de Colombia». *Nómadas*, n.º 44 (enero): 123-45.

Raasch, Christina. 2011. «Product Development in Open Design Communities: A Process Perspective». *International Journal of Innovation and Technology Management* 08 (04): 557-75. <https://doi.org/10.1142/S021987701100260X>.

Raasch, Christina, Cornelius Herstatt, y Kerstin Balka. 2009. «On the Open Design of Tangible Goods». *R&D Management* 39 (4): 382-93. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2009.00567.x>.

Ravindran, Sandeep. 2020. «How DIY Technologies Are Democratizing Science». *Nature* 587 (7834): 509-11. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-03193-5>.

Richard M. Stallman. 2015. «Free Hardware and Free Hardware Designs».

Rip, A, y R Kemp. 1998. *Technological Change*. Vol. Volume 2.

Roberts, J. Timmons, y Melissa M. Toffolon-Weiss. 2001. *Chronicles from the Environmental Justice Frontline*. Cambridge ; New York: Cambridge University Press.

Rodriguez, María Lorena López, y Ricardo Taborda. 2012. «Diferencias de Género En Las Carreras de Ingeniería. El Caso Particular de Ingeniería Biomédica.» *Revista Argentina de Bioingeniería* 18 (1): 23-26.

Sarewitz, Daniel, y Roger A. Pielke. 2007. «The Neglected Heart of Science Policy: Reconciling Supply of and Demand for Science». *Environmental Science & Policy* 10 (1): 5-16. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2006.10.001>.

Schot, Johan, y Frank W. Geels. 2008. «Strategic Niche Management and Sustainable Innovation Journeys: Theory, Findings, Research Agenda, and Policy». *Technology Analysis & Strategic Management* 20 (5): 537-54. <https://doi.org/10.1080/09537320802292651>.

Schot, Johan, Remco Hoogma, y Boelie Elzen. 1994. «Strategies for Shifting

Technological Systems. The Case of the Automobile System». *Futures* 26 (10): 1060-76. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(94\)90073-6](https://doi.org/10.1016/0016-3287(94)90073-6).

Schot, J, y W E Steinmueller. 2016. «Working Paper - Framing Innovation Policy for Transformative Change: Innovation Policy 3.0». Science Policy Research Unit (SPRU).

Schumpeter, Joseph A. 1934. *The theory of economic development: an inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle*. Social science classics series. New Brunswick, N.J: Transaction Books.

Sen, Amartya. 1999. *Development as Freedom*. New York: Alfred A. Knopf.

Seyfang, Gill, y Adrian Smith. 2007. «Grassroots Innovations for Sustainable Development: Towards a New Research and Policy Agenda». *Environmental Politics* 16 (4): 584-603. <https://doi.org/10.1080/09644010701419121>.

Shepard, Benjamin. 2005. «Play, Creativity, and the New Community Organizing». *Journal of Progressive Human Services* 16 (2): 47-69. https://doi.org/10.1300/J059v16n02_04.

Sismondo, Sergio. 2008. «Science and Technology Studies and an Engaged Program». *The handbook of science and technology studies* 1: 13-31.

Situaciones, Colectivo. 2003. *Sobre El Militante Investigador. transversal texts*.

Smith, A. 2006. «Green Niches in Sustainable Development: The Case of Organic Food in the UK». *Environment and Planning C* 24 (3): 439-58. <https://doi.org/10.1068/c0514j>.

Smith, Adrian, y Rob Raven. 2012. «What Is Protective Space? Reconsidering Niches in Transitions to Sustainability». *Research Policy* 41 (6): 1025-36. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2011.12.012>.

Smith, Adrian, y Andrew STIRLING acstirling. 2018. «Innovation, Sustainability and Democracy: An Analysis of Grassroots Contributions». *Journal of Self-Governance and Management Economics* 6 (1): 64-97. <https://doi.org/10.22381/JSME6120183>.

Smith et al, Adrian. 2017. *Grassroots Innovation Movements*. Abingdon, Oxon ; New York, NY: Routledge.

Snow, David A., E. Burke Rochford, Steven K. Worden, y Robert D. Benford. 1986. «Frame Alignment Processes, Micromobilization, and

Movement Participation». *American Sociological Review* 51 (4): 464. <https://doi.org/10.2307/2095581>.

Sovacool, Benjamin K, y David J Hess. 2017. «Ordering Theories: Typologies and Conceptual Frameworks for Sociotechnical Change». *Social Studies of Science* 47 (5): 703-50. <https://doi.org/10.1177/0306312717709363>.

Söderberg, Johan. 2011. «Free Software to Open Hardware: Critical Theory on the Frontiers of Hacking». Doctoral, Gothenburg: University of Gothenburg, Dept. of Sociology.

———. 2013. «How Open Hardware Drives Digital Fabrication Tools Such as the 3D Printer». *INTERNET POLICY REVIEW*. <https://doi.org/10.14763/2013.2.138>.

Spaapen, J., y L. V. Drooge. 2011. «Introducing “Productive Interactions” in Social Impact Assessment». <https://doi.org/10.3152/095820211X12941371876742>.

Stirling, Andy. 2015. «Towards Innovation Democracy? Participation, Responsibility and Precaution in the Politics of Science and Technology». *STEPS Working Paper 78*, 1-5.

Stirling, Julian. 2020. «Open Hardware from Academia». *GitLab*. <https://gitlab.com/ohac/roadmap>

Stirling, Julian, y Richard Bowman. 2020. «The COVID-19 Pandemic Highlights the Need For Open Design Not Just Open Hardware», agosto. <https://doi.org/None>.

Strasser, Bruno J., Jérôme Baudry, Dana Mahr, Gabriela Sanchez, y Elise Tancoigne. 2018. «“Citizen Science”? Rethinking Science and Public Participation». *Science & Technology Studies*, octubre, 52-76. <https://doi.org/10.23987/sts.60425>.

Svensson, Sahra, Jessika Luth Richter, Eléonore Maitre-Ekern, Taina Pihlajarinne, Aline Maigret, y Carl Dalhammar. 2018. «The Emerging “Right to Repair” Legislation in the EU and the U.S.» En *Going Green CARE INNOVATION 2018*.

Sørensen, Knut. 2005. «Domestication: The Enactment of Technology». En *Domestication of Media and Technology*, 40-61. McGraw-Hill Education (UK).

Sørensen, Knut, Margrethe Aune, y Morten Hatling. 2000. «Against Linearity - On the Cultural Appropriation of Science and Technology». En *Between Understanding and Trust: The Public, Science and Technology*. Routledge.

Tarrow, Sidney. 2004. «Paradigm Warriors: Regress and Progress in the Study of Contentious Politics». En *Rethinking Social Movements: Structure, Meaning,*

and Emotion. People, Passions, and Power. Lanham, Md: Rowman & Littlefield Publishers.

Tech, Robin P. G., Jan-Peter Ferdinand, y Martina Dopfer. 2016. «Open Source Hardware Startups and Their Communities». En *The Decentralized and Networked Future of Value Creation*, 129-45. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg.

Thomas, Hernán, Guillermo Santos, y Hernán Thomas, eds. 2016. *Tecnologías Para Incluir: Ocho Análisis Socio-Técnicos Orientados al Diseño Estratégico de Artefactos y Normativas*. Primera edición. Agenda CTD : Ciencia, Tecnología y Desarrollo. Bernal, Argentina: Instituto de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología, IESCT, Universidad Nacional de Quilmes.

Tilly, Charles. 2008. *Contentious Performances*. Cambridge University Press.

Tiwari, Meera. 2017. «Exploring the Role of the Capability Approach in Social Innovation». *Journal of Human Development and Capabilities* 18 (2): 181-96. <https://doi.org/10.1080/19452829.2016.1271312>.

Tsang, Mary. 2017. «From Biomolecules to Biopolitics... Hormones with Institutional Biopower!» Doctoral Dissertation, Massachusetts Institute of Technology.

UNESCO, y Flavia Schlegel, eds. 2015. *UNESCO Science Report: Towards 2030*. UNESCO Science Report 2015. Paris: UNESCO Publ.

United Church of Christ. 1987. «Toxic Wastes and Race in the United States: A National Report on the Racial and Socio-Economic Characteristics of Communities with Hazardous Waste Sites». NY, USA.

Urban, Pawel L. 2014. «Open-Source Electronics As a Technological Aid in Chemical Education». *Journal of Chemical Education* 91 (5): 751-52. <https://doi.org/10.1021/ed4009073>.

Vaccarezza, Leonardo Silvio, y Juan Pablo Zabala. 2002. *La Construcción de La Utilidad Social de La Ciencia: Investigadores En Biotecnología Frente al Mercado*. Universidad Nacional de Quilmes Ediciones.

van der Bij, E, J Serrano, T Wlostowski, M Cattin, E Gousiou, P Alvarez Sanchez, A Boccardi, N Voumard, y G Penacoba. 2012. «Open Hardware for CERN's Accelerator Control Systems». *Journal of Instrumentation* 7 (01): C01032-C01032. <https://doi.org/10.1088/1748-0221/7/01/c01032>.

Varela, F. G., H. R. Maturana, y R. Uribe. 1974. «Autopoiesis: The Organization

of Living Systems, Its Characterization and a Model». *Biosystems* 5 (4): 187-96. [https://doi.org/10.1016/0303-2647\(74\)90031-8](https://doi.org/10.1016/0303-2647(74)90031-8).

Varsavsky, Oscar. 1969. *Ciencia, política y cientificismo*. Capital Intelectual S A.

Vessuri, Hebe. 2004. «La Hibridización del Conocimiento. La Tecnociencia y los Conocimientos Locales a la Búsqueda del Desarrollo Sustentable», 22.

Vessuri, Hebe, Jean-Claude Guédon, y Ana María Cetto. 2014. «Excellence or Quality? Impact of the Current Competition Regime on Science and Scientific Publishing in Latin America and Its Implications for Development». *Current Sociology* 62 (5): 647-65. <https://doi.org/10.1177/0011392113512839>.

Visvanathan, Shiv. 2006. «Alternative Science». *Theory, Culture & Society* 23 (2-3): 164-69. <https://doi.org/10.1177/026327640602300226>.

von Hippel, Eric. 1976. «The Dominant Role of Users in the Scientific Instrument Innovation Process». *Research Policy* 5 (3): 212-39.

Wagenknecht. 2014. «Taxonomy of Hardware Documentation». En *Building Open Source Hardware: DIY Manufacturing for Hackers and Makers*.

Weiler, Hans N. 2011. «Knowledge and Power: The New Politics of Higher Education». *Journal of Educational Planning and Administration* 25 (3): 205-21.

Weissman, Harold H., y Hunter College, eds. 1990. *Serious Play: Creativity and Innovation in Social Work*. Silver Spring, MD: National Association of Social Workers.

West, Joel, y Karim R. Lakhani. 2008. «Getting Clear About Communities in Open Innovation». *Industry and Innovation* 15 (2): 223-31. <https://doi.org/10.1080/13662710802033734>.

Winner, Langdon. 2001. *Autonomous Technology: Technics-out-of-Control as a Theme in Political Thought*. 9. printing. Cambridge, Mass.: MIT Pr.

Woodson, Thomas, Julia Torres Alcantara, y Milena Silva do Nascimento. 2019. «Is 3D Printing an Inclusive Innovation?: An Examination of 3D Printing in Brazil». *Technovation* 80-81 (febrero): 54-62. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2018.12.001>.

Wozniak. 2014. «The Design Process: How to Get from Nothing to Something». En *Building Open Source Hardware: DIY Manufacturing for Hackers and Makers*.

Wylie, Sara Ann, Kirk Jalbert, Shannon Dosemagen, y Matt Ratto. 2014. «Institutions for Civic Technoscience: How Critical Making Is Transforming Environmental Research». *The Information Society* 30 (2): 116-26. <https://doi.org/10.1080/01972243.2014.875783>.

Yanamandram, Venkat Mahesh Kumar, y Jitesh H. Panchal. 2014. «Evaluating the Level of Openness in Open Source Hardware». En *Product Development in the Socio-Sphere*, 99-120. New York: Springer.

Yin, Robert. 2018. *Case Study Research and Applications : Design and Methods*. 6th edition. SAGE publications.

Yuan, Yiming, Hongyi Guo, Hongfei Xu, Weiqi Li, Shanshan Luo, Haiqing Lin, y Yuan Yuan. 2010. «China's First Special Economic Zone:The Case of Shenzhen». En *Building Engines for Growth and Competitiveness in China: Experience with Special Economic Zones and Industrial Clusters*. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-8432-9>.

Anexo 1 - Cuestionario

Movimiento global

1. ¿Cuál fue la primera vez que escuchó sobre el hardware científico abierto?
2. ¿Cómo era el mundo del hardware científico abierto entonces, cómo es ahora?
3. ¿Puede recordar algún elemento significativo en el contexto político, económico, social de esa época?
4. ¿Cómo y cuándo se une a GOSH?
5. ¿Cuál fue la motivación original para participar en GOSH?
6. ¿Cómo definiría la comunidad de GOSH?
7. ¿Cambió algo desde el momento en que se unió?
8. ¿Qué piensa de GOSH en comparación con otras comunidades de las que forma parte?
9. ¿Qué considera que son los aspectos más destacados o los hitos de la comunidad de GOSH?
10. ¿Cuáles son los beneficios y desafíos de esta comunidad?
11. ¿Qué piensa de la estrategia basada en la diversidad de GOSH?
12. ¿Qué tipo de conocimientos se necesitan para formar parte de GOSH? ¿Es fácil unirse?
13. ¿Cree que hay o ha habido procesos de aprendizaje dentro de GOSH? ¿Cuáles?
14. Si es así, ¿cuál considera que es su mayor aprendizaje de GOSH?
15. ¿Cuál considera que es su papel en GOSH?
16. ¿Comenzó nuevas colaboraciones o afiliaciones al participar en GOSH?
17. ¿Cuál es el impacto que considera que tiene GOSH fuera de la comunidad?
18. ¿Dónde ve a GOSH ahora y en los próximos años?

Anexo 2 - Plantilla final de análisis: Movimiento global

1. Contexts
 1. Constraints
 2. Enablers
2. Framings
 3. Motivation
 4. Problematization
 5. Visions
3. Spaces & Strategies
 6. Networks & Intermediaries
 7. Repertoires of action
 8. Resources
 9. Spaces
4. Pathways
 10. Illustrative examples
 11. Institutions
5. Other
 12. Artifacts
 13. Background
 14. Decentralization
 15. Tensions
 16. Voluntary work
 17. Chronology

Anexo 3 - Protocolo para estudios de caso

Objectives of case study

[PROJECT NAME] is an initiative that builds [DESCRIPTION OF ARTEFACT]. The goal of this case study is to understand how the PROJECT NAME project is contributing to democratizing science and technology in the global south.

The [ARTEFACT] was developed and used to [PURPOSE OF PROJECT]

The project was originally created at [CONTEXT OF PROJECT, YEAR]

Case study questions, hypothesis, propositions

The main hypothesis in this study is that GOSH constitutes a strategic niche for innovation towards a more democratic knowledge production socio-technical system. The derived hypothesis states that PROJECT NAME contributes to democratizing the production of knowledge in the Global South.

Questions	Propositions
1. How is the PROJECT NAME contributing to GOSH existence as a strategic niche?	The group articulates framings (motivations, problematization, visions) and communicates them to a wide audience
	The group opens up spaces for the project through (i) broad and deep networks and presence of key intermediaries (ii) mobilization of resources (iii) repertoires of action and secondary learning
	The group interacts with institutions in the science and technology socio-technical system
2. Who is and who is not participating in PROJECT NAME?	The group shows evidence of action towards lowering access barriers for underrepresented groups during all stages of the project
	Benefits and penalties are distributed equally within participants
	Mode of participation and division of labour
3. How do participants of PROJECT NAME project contextualize technology?	Participants show evidence of going through technology domestication phases
	Participants show evidence of developing practical,
	symbolic and cognitive work in order to appropriate technology.
4. How do participants of PROJECT NAME project build capabilities?	Which are the functionings and capabilities valued by participants
	Evidence of achieved functionings
	Missing or non achieved functionings

Interviewees and contact information

#	Complete name	Role	Contact
1	Participant 1	User	[E-MAIL]
2	Participant 2	Developer	[E-MAIL]
3	Participant 3	Manufacturing	[E-MAIL]

Data collection plan

Activity	1	2	3	4	5	6	7
Systematize all available public project information	x						
Gain signed consent for interviews		x					
Ask for project documentation (repositories, video, audio, press)		x					
Ensure access to web conference system		x					
Ensure storage availability		x					
Send calendar invitations for interviews with 4 interviewees, schedule 2 h			x				
1st round of interviews				x			
2nd round of interviews					x		
3rd round of interviews						x	
4th round of interviews							x
Encrypt and store recordings				x	x	x	x
Transcribe recordings				x	x	x	x

Checklist for interviews

	Done?
Previous	
Get signed consent from interviewee	
Check video conference service is working and no time limit is enabled	
Check if recording service working and enough storage is available	
Get a notebook + pen for quick notes	
Get a laptop extra for quick searches	
Get a secondary tool for recording (e.g. phone)	
Print this protocol and have it at hand	
During interviews	
Tell interviewee about goals of case study, anonymization, expected products	
Ask interviewee if there's any question	
Ask for consent for recording	
Enable recording	
Check recording is on	
Move to section C questions	
After interviews	
Rename audio and video files, apply coding from DMP	
Take a picture of the notes, apply coding from DMP	
Store these three files in encrypted storage service	
Thanks email to interviewee, ask for questions/comments, tell next steps, point to phd repository	

Protocol questions

Fields in purple mean data can be obtained through secondary sources like the web or project documentation.

Collect data about which artifact design stages are related to the project. This will organize the rest of the questions.

1. **Has the project been involved in any of these stages of artifact design? If yes, how?**

Collect data on how much the project is aligned with indicators of strategic niche formation.

2. **Which is the motivation or problem you want to address with this project?**
3. **What do you aim to achieve, which is the vision for your project? Inspirations?**
4. **How do you communicate what you do?**

Collect data about the networks the project belongs to and which role it plays in them.

5. **Which networks are you part of?**

Collect data about key intermediaries between the project and other projects in GOSH. What kind of lessons are key intermediaries transmitting?

6. **Have you engaged with other GOSHers in activities? What for?**

Collect data about resources of different types and which is the source for them, is the source sustainable? Are these resources mobilized from the networks mentioned before?

7. **How do you obtain resources for your activities?**

Collect information about the spaces opened by the project and its levels of activity.

8. In which areas are you developing your activities, with which frequency?

Collect information about the activities developed by the project and their impact when possible, how these actions help opening spaces?

9. Which activities do you develop as part of your work?

Collect information about interactions with institutions, what level of influence (pathway) can the project have in this interaction? Which are the consequences?

10. Have you had any contacts with formal science, tech, education, gov institutions? Tell us more about it.

Collect information on diversity of participants and evidence of work towards augmenting it, taking into account those usually underrepresented, or falling into the intersection of bias.

11. How do you ensure more and more different people can participate in the project?

Collect evidence of participation of all interviewees in all stages, especially those critical for power implications, like ideation, evaluation of prototypes, selection. In each stage, how are activities perceived as positive and activities perceived as tedious/negative assigned and distributed?

12. Which activities have you taken part in each of the stages of the artifact design included in the project?

13. What did you do in each stage that you consider motivating and that you don't consider motivating?

Collect evidence of participants going through processes of technology domestication, including data generation.

14. Tell me about your story with the microscope: How was your first contact with it? How you got used to it, how do you feel about it now?

Collect data about the functionings that participants identify as necessary for producing knowledge in the context of PROJECT NAME. Are they similar to the capability set for design? What is the result of the self-assessment?

15. **Which capacities you consider are necessary for running a project like PROJECT NAME? Did you have any trouble acquiring them?**
16. **Do you feel you'd be able to replicate it, or generate a new project from what you learned? Why?**

Collect evidence of participants level of achievement of the capabilities identified + capability set for design. Classify for each stage and capability, a level of achievement:

- Existence of choice (E): can participants access the information, can they imagine new ideas, can they acquire knowledge, are they able to evaluate, are they able to participate, are they able to exercise authority on their decisions?
 - Use of choice (U): do participants access the information, do they imagine new ideas, do they acquire knowledge, do they evaluate, do they participate, do they exercise authority on their decisions?
 - Achievement of choice (A): what is the quality of participation when they engage, what are the outcomes of having knowledge, of producing data they are interested in.
17. **Do you have access to all relevant information of the project? (not only tech specs, decision-making, funding, strategies)**
 18. **Do you understand how each part of the PROJECT NAME works and what the data means?**
 19. **Has PROJECT NAME inspired you with new ideas for projects?**
 20. **What do you think about the environmental, social or economic implications of PROJECT NAME?**
 21. **Are you able to discuss your ideas with others within the team and outside?**
 22. **Is or was there anything you'd do differently? Have you proposed it?**

Tentative outline for the case study report

1. PROJECT BACKGROUND

1. VISIONS
2. SPACES AND STRATEGIES
3. INSTITUTIONS

2. PARTICIPATION
5. ACCESS BARRIERS
6. DIVERSITY
7. WORK DISTRIBUTION

3. DOMESTICATION
9. PRACTICAL WORK
10. SYMBOLIC WORK
11. COGNITIVE WORK

4. CAPABILITIES
12. VALUED CAPABILITIES
13. SCIENCE PROD CAPABILITIES

Anexo 4 - Plantilla final de análisis: Estudio de casos

1. FORMATION

1. FORMATION.desarrollo
2. FORMATION.networks
3. FORMATION.incentives
4. FORMATION.encyency
5. FORMATION.democratization
6. FORMATION.funding

2. PARTICIPATION

7. PARTICIPATION.barriers
8. PARTICIPATION.power
 1. PARTICIPATION.power.research_cycle
9. PARTICIPATION.new_actors
10. PARTICIPATION.new_roles
11. PARTICIPATION.young_researchers
12. PARTICIPATION.diversity
 2. PARTICIPATION.diversity.gender
 3. PARTICIPATION.diversity.minorities

3. DOMESTICATION

13. DOMESTICATION.acceleration
 4. DOMESTICATION.acceleration.facilitation
14. DOMESTICATION.works
 5. DOMESTICATION.works.unbalance
 6. DOMESTICATION.works.cognitive
 1. DOMESTICATION.works.cognitive.interdiscipline
 2. DOMESTICATION.works.cognitive.iterations

- 3. DOMESTICATION.works.cognitive.languages
- 4. DOMESTICATION.works.cognitive.others
- 7. DOMESTICATION.works.practical
- 8. DOMESTICATION.works.symbolic
 - 5. DOMESTICATION.works.symbolic.collaboration
 - 6. DOMESTICATION.works.symbolic.fear_tech
- 4. DOMESTICATION.late_stages
- 5. DOMESTICATION.interactions.appropriation
- 6. DOMESTICATION.interactions.development
- 7. DOMESTICATION.interactions.asymmetry
- 8. CAPABILITIES
 - 15. CAPABILITIES.valued
 - 9. CAPABILITIES.valued.dev
 - 10. CAPABILITIES.valued.science
 - 11. CAPABILITIES.valued.autonomy
 - 16. CAPABILITIES.tools.not_science
 - 17. CAPABILITIES.science
 - 12. CAPABILITIES.science.meaning
 - 18. CAPABILITIES.collective
 - 19. CAPABILITIES.conversion_factors
 - 13. CAPABILITIES.conversion_factors.experiences
 - 20. CAPABILITIES.repair

Anexo 5 - Consentimiento informado

Título del proyecto: «El movimiento Global por el Hardware Científico Abierto y su contribución a la democratización de la ciencia y la tecnología en el Sur Global»

Responsable: Julieta C. Arancio

Nombre del participante: [PARTICIPANTE]

Gracias por aceptar ser entrevistado como parte del mencionado proyecto de investigación. Los procedimientos éticos para la investigación académica respaldados por el Consejo Nacional de Investigación Científica y Técnica - Argentina (CONICET) requieren que los entrevistados otorguen su consentimiento informado previa participación, conociendo cómo se utilizará la información brindada en su entrevista.

El propósito de este formulario de consentimiento es proveer a los participantes de esta investigación con una clara explicación de la naturaleza de la misma, así como de su rol en ella como participantes.

La entrevista tomará un tiempo máximo de 90 minutos. **No anticipamos que existan riesgos asociados con su participación, pero usted tiene el derecho de detener** la entrevista o retirarse de la investigación en cualquier momento.

Proceso de entrevista y condiciones

- La entrevista será **grabada** y se producirá una **transcripción** de la misma;
- los productos del análisis le serán enviados, dándole la **oportunidad de corregir o ampliar** cualquier error o aspecto que usted detecte;
- la transcripción de la entrevista será analizada por **Julieta Arancio** como investigadora responsable;

- el acceso a la transcripción será limitado a **Julieta Arancio y colegas académicos** con los que colabora como parte del proceso de investigación;
- la grabación será **almacenada de forma encriptada** para el análisis y destruida en diciembre 2020;
- cualquier modificación en las condiciones anteriores sólo podrá ocurrir con su **explícita aprobación**.

Acuerdo sobre citas y referencias

Por favor indique con cuál de las siguientes declaraciones está de acuerdo en términos de citas textuales surgidas de la entrevista:

	Acepto ser citado directamente con mi nombre y apellido.
	Acepto ser citado directamente si mi nombre no se publica y se utiliza un nombre inventado (seudónimo).
	Acepto que los investigadores puedan publicar documentos que contengan citas mías.

Productos de investigación

El contenido de su entrevista puede ser utilizado total o parcialmente en:

- documentos académicos, recomendaciones de políticas o artículos de prensa
- blogs online y/o presentaciones orales en conferencias
- eventos comunitarios relacionados a la temática
- archivo del proyecto de investigación

Al firmar este formulario, acepto que:

1. Estoy participando voluntariamente en este proyecto: Entiendo que no tengo obligación de participar y que puedo detener la entrevista en cualquier momento si así lo deseo;
2. He leído y estoy de acuerdo con las condiciones de la entrevista;
3. La transcripción de la entrevista o los extractos de ella pueden ser utilizados como se describió anteriormente;
4. No espero recibir ningún beneficio o pago por mi participación;
5. Puedo solicitar una copia de la transcripción de mi entrevista y hacer modificaciones que considere necesarias para garantizar la efectividad de cualquier acuerdo de confidencialidad;

6. He podido realizar preguntas y entiendo que soy libre de contactar al investigador con cualquier pregunta que pueda tener en el futuro.

FIRMA INVESTIGADOR

FIRMA PARTICIPANTE

Información de contacto

Esta investigación ha sido revisada y aprobada por el «[Consejo Nacional de Investigación Científica y Técnica- Argentina \(CONICET\)](#)» y «[Universidad Nacional de Quilmes](#)». Si tiene más preguntas o inquietudes sobre este estudio, comuníquese con:

DATOS INVESTIGADORA

DATOS DIRECTORA