RIDAA
Repositorio Institucional
Digital de Acceso Abierto de la
Universidad Nacional de Quilmes

Universidad
Nacional
de Quilmes

Seijo, Gustavo L.

¿Cómo hacer un satélite espacial a partir de un reactor nuclear? Elogio de las tecnologías de investigación en invap

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Argentina.
Atribución - No Comercial - Sin Obra Derivada 2.5
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/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:
Seijo, G. y Cantero J. H. (2012) ¿Cómo hacer un satélite espacial a partir de un reactor nuclear? Elogio de las tecnologías de investigación en INVAP. Redes: Revista de estudios sociales de la ciencia, 18 (35), 13-44. Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/552

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

Universidad Nacional de Quilmes
Roque Sáenz Peña 352 // Bernal
Buenos Aires // Argentina
t.: (+41 11) 4365 7100
f.: (+54 11) 4365 7101
info@unq.edu.ar

¿CÓMO HACER UN SATÉLITE ESPACIAL A PARTIR DE UN REACTOR NUCLEAR? ELOGIO DE LAS TECNOLOGÍAS DE INVESTIGACIÓN EN INVAP

Gustavo L. Seijo[*]
Javier H. Cantero[**]

RESUMEN

Este artículo plantea un análisis posible del proceso de generación y desarrollo de tecnologías de investigación (TI) en INVAP. Puede considerarse la cartera extremadamente diversificada de productos de INVAP como el resultado de procesos continuos de desarrollo de tecnología. Las TI dan cuenta de un saber intersticial circulante –a veces, también interdepartamental– que ha cruzado, cuando menos, las fronteras de una disciplina académica específica. De acuerdo con esta perspectiva teórica, el quehacer en I+D tecnológico de una organización puede caracterizarse como un proceso coordinado, transversal, interdepartamental e interdisciplinario. Las TI poseen la capacidad de ser desensambladas de un proyecto de desarrollo determinado y ser, luego, reensambladas dentro de otro/s proyecto/s de desarrollo o área/s organizacional/es de actividad tecnológica. En este artículo se identifican y describen las dinámicas históricas de seis TI de INVAP. La perspectiva de TI le quita relevancia al énfasis tradicional atinente a la generación de nuevos productos o la mejora de procesos productivos que enfáticamente prohíja la literatura más convencional de I+D. Además, este enfoque destaca la importancia de monitorear la evolución de distintas TI a nivel

* Universidad Nacional de General Sarmiento/Conicet. Correo electrónico: <gseijo@ungs.edu.ar>.
** Universidad Nacional de General Sarmiento. Correo electrónico: <jcantero@ungs.edu.ar>.

organizacional para que puedan contribuir a conformar capacidades dinámicas organizacionales a su debido tiempo.

PALABRAS CLAVE: TECNOLOGÍAS DE INVESTIGACIÓN – GESTIÓN DE I+D – CAPACIDADES DINÁMICAS – ORGANIZACIONES DE BASE TECNOLÓGICA

EL CASO DE ESTUDIO

INVAP es una sociedad del Estado de base tecnológica localizada en Bariloche, Argentina.[1] Un acuerdo entre el gobierno de la provincia de Río Negro y la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) dio origen a INVAP en 1976. INVAP fue originalmente concebida como una empresa de desarrollo, esto es, una organización mayormente poblada por especialistas en distintas áreas que está a cargo de la fabricación de una serie de dispositivos tecnológicos. El cuerpo de directores de INVAP tiene representantes del gobierno de Río Negro, de la CNEA y del personal de la empresa.

INVAP nunca fue pensada como un foro académico con investigadores encargados de la escritura de artículos que siguen un régimen regular de publicaciones y de concurrencia a congresos. En 1976 fue inaugurada bajo los auspicios del modelo lineal de innovación (Bush, 1999).[2] De esta manera, la CNEA quedaría a cargo de hacer investigación en temas nucleares (más cercanas a la ciencia básica y aplicada), mientras que INVAP quedó encargada de la fabricación (complementaria) de productos tecnológicos concretos. En la actualidad INVAP es una empresa autónoma para la realización de proyectos tecnológicos; ya no es posible verificar esta división de tareas de conocimiento/fabricación entre la CNEA e INVAP.

Las actividades actuales de la empresa pueden agruparse en cinco áreas de proyectos tecnológicos: nuclear, aeroespacial, industrial, equipamiento médico y científico, y gobierno y defensa. INVAP se abocó a desarrollos estrictamente nucleares en esta primera etapa de su vida, a finales de la década de 1970 y mitad de la siguiente; por ejemplo, a una planta de enriquecimiento de uranio y un grupo de reactores experimentales construidos para la CNEA (Thomas, Versino y Lalouf, 2008). Luego de este primer periodo, la evolución de la cartera de productos de INVAP ha seguido un patrón de diversificación productiva sumamente ecléctico. Ergo, INVAP

[1] INVAP cuenta también con dependencias en Buenos Aires y en el exterior.

[2] Conrado Varotto, fundador de INVAP, caracteriza a la empresa en sus orígenes como una organización de cuarto eslabón dentro del modelo lineal de innovación.

produjo –durante los últimos veinte años– reactores experimentales, satélites espaciales, generadores de energía eólica, un sistema de transporte liviano, dos planta de liofilización (deshidratación en frío), una planta de tratamiento de residuos radioactivos, contenedores para residuos radioactivos, unidades de cobalto-terapia para medicina y distintos tipos de radares, entre otros productos tecnológicos y desarrollos conjuntos con otras organizaciones (véanse figuras 1 a 13). Tal y como fue destacado por los entrevistados de la empresa en reiteradas ocasiones, INVAP rara vez rechaza un pedido de un cliente para hacer un desarrollo tecnológico. Dado que INVAP no recibe subsidios gubernamentales ni está incluida –como organización– en ninguna fuente recurrente de fondos del Estado argentino, sus miembros destacan repetidas veces que ellos "viven de lo que hacen": solo las ganancias que proporcionan los proyectos de INVAP financian las actividades de la empresa. Por último, sería preciso agregar aquí que a INVAP le fue otorgada una certificación de la NASA por su habilidad para llevar a cabo proyectos aeroespaciales completos (con excepción de la fase de lanzamiento del satélite). La empresa también cuenta con las certificaciones actualizadas ISO 9001 e ISO 14001 a nivel corporativo.

Tecnólogos y tomadores de decisiones de INVAP han mencionado repetidas veces en las entrevistas que ellos encuentran desafiante y motivador el errático proceso de desarrollo de tecnología –que, en la mayor parte de los casos, espanta al sector privado argentino. Es precisamente esta devoción por el desarrollo –y no los tan mentados criterios comerciales y de mercado cuya mejor expresión puede que sea la matriz de producto-mercado también conocida como vector de crecimiento (Ansoff, 1957)– uno de los factores contribuyentes centrales para la conformación de la cartera ecléctica de productos tecnológicos antes referida (Seijo, Ciancio y Cantero, 2008). Debido a que INVAP es un producto organizacional de dos entidades que pertenecen al Estado argentino, la gestión de la empresa se ha encontrado siempre aliviada de la presión (financiera) de accionistas –más característica del ámbito privado. No obstante, cabe destacar que algunas crisis del pasado de INVAP se relacionaron también con esta fuerte vinculación al Estado argentino. El devenir de INVAP ha seguido los avatares y cambios de la política gubernamental de Argentina. Por ejemplo, la crisis financiera que implicó una reducción severa de personal a comienzos de la década de 1990 en INVAP estuvo fuertemente vinculada con que la CNEA había sido, hasta ese momento, el único cliente de INVAP. Al haberse acotado en esa fecha el presupuesto de la CNEA, INVAP vio automáticamente reducido su nivel de actividad. En línea con esto último, cabe destacar que desde mediados de la década de 1980 en adelante, el

área nuclear de INVAP buscó activamente clientes en el exterior, participando de procesos de licitación internacionales. De este modo, la internacionalización del área nuclear implicó la construcción de reactores nucleares experimentales para los gobiernos de Argelia (el reactor NUR, 1985-1990), Egipto (el reactor ETRR-2, 1992-1999), y Australia (el reactor OPAL, 2001-2006) (véanse figuras 1 a 3).

La ecléctica cartera de productos de INVAP es también hija de los distintos clientes y fuentes de financiamiento que ha tenido durante los últimos veinte años. El proceso de trabajo en INVAP es muy poco rutinario y orientado, en su mayor parte, hacia encargos heterogéneos en su naturaleza. Miembros de INVAP destacan haber aprendido mucho de los encargos de sus mejores clientes, como el reactor OPAL en Australia; véase el aprendizaje a través de la interacción (Lundvall, 1988).

Aparte de la internacionalización de la oferta del área nuclear –debido a la reducción de las actividades de la CNEA– INVAP tuvo que esforzarse también para conseguir acceso a nuevos mercados en términos tanto comerciales como tecnológicos. El área aeroespacial y la certificación de la NASA anteriormente mencionada fueron precisamente los resultados más significativos de este proceso de búsqueda de nuevos mercados en la década de 1990. Sin embargo, solo el área nuclear ha conseguido a la fecha vender exitosamente los productos y servicios de INVAP en el exterior. El ámbito comercial de la mayor parte de los otros productos se encuentra restringido al mercado nacional argentino, y es el Estado argentino (y sus múltiples dependencias) el mayor cliente de la empresa. El poder de compra (estratégico) del Estado argentino ha sido vital para la creación de todas las áreas de INVAP. La mayor parte de sus productos son compatibles con los más altos estándares internacionales[3] y la gestión actual de la empresa intenta progresivamente colocar su oferta productiva en mercados internacionales. Además de los desarrollos en reactores experimentales, el único intento exitoso de internacionalización, hasta la fecha, ha sido la venta de un gran lote de unidades de cobalto-terapia (véase figura 4) al gobierno de Venezuela y una computadora espacial que en estos momentos INVAP está fabricando para Brasil.

[3] Para ilustrar el grado de reconocimiento internacional logrado por el área aeroespacial de INVAP, puede mencionarse que el satélite SAC-D / Aquarius –que fue lanzado recientemente en junio de 2011– llevaba como carga principal instrumental altamente sofisticado de los Estados Unidos para medir la salinidad de los océanos. Este emprendimiento conjunto de ambos países formó parte de un acuerdo firmado entre la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE, Argentina) y la NASA (Estados Unidos).

Figura 1. Edificio del reactor NUR (Argelia)

Fuente: INVAP (s/f: 57). Las imágenes incluidas en este artículo se reproducen con la amable autorización de INVAP.

Figura 2. Edificio del reactor ETRR-2 (Egipto)

Fuente: INVAP (s/f: 59).

Figura 3. Edificio del reactor OPAL (Australia)

Fuente: INVAP (s/f: 69).

Figura 4. Unidad de cobalto-terapia

Las unidades de cobalto-terapia se utilizan en tratamiento para cáncer.
Fuente: INVAP (s/f: 99).

Figura 5. Prótesis de titanio

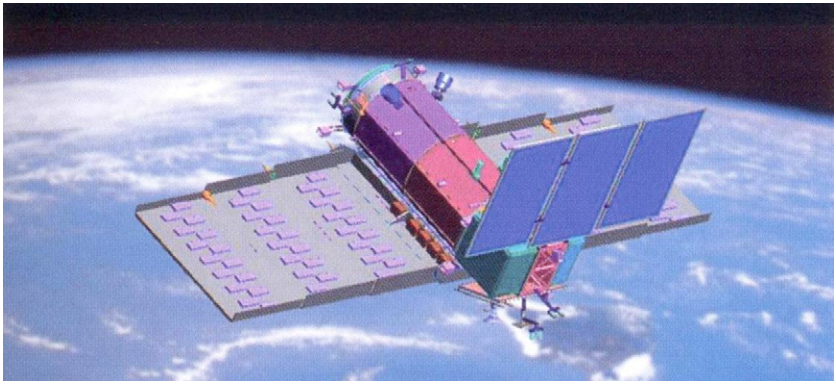
El Área de Medicina y Equipamiento Científico de INVAP provee prótesis de titanio. La experiencia de INVAP para trabajar con materiales complejos y los procedimientos de mecanizado especial han permitido el desarrollo de estas prótesis.
Fuente: INVAP (s/f: 103).

La segunda área más grande en INVAP es la aeroespacial que construye satélites para el Estado argentino. INVAP comenzó su actividad aeroespacial con la fabricación de la serie de satélites SAC (SAC-A al SAC-D) (véase figura 6). La serie SAC está compuesta por satélites de aplicaciones científicas que, por ejemplo, hacen recolección de datos terrestres, marinos y climáticos. Recientemente, INVAP está construyendo también el SAOCOM (véase figura 7), un satélite de grandes proporciones provisto de un radar de apertura sintética que permite "ver" en la oscuridad de la noche, así también como entre las nubes y el follaje. Este último radar tiene la capacidad de analizar la composición del suelo. Por otra parte, INVAP se encuentra construyendo tres satélites de comunicación para la compañía estatal ARSAT.

Figura 6. Representación artística del satélite SAC-C en órbita

Fuente: INVAP (s/f: 112-113).

Figura 7. Representación artística del satélite SAOCOM en órbita



El satélite SAOCOM lleva un módulo radiante (similar a un radar). Es un satélite más pesado y complejo que los de la serie SAC (que abarca del SAC-A al SAC-D). Fuente: INVAP (s/f: 121).

La estructura organizacional de INVAP combina las áreas verticales tecnológicas previamente presentadas con áreas horizontales transversales de servicio. Por lo tanto, de acuerdo a su diseño de estructura, cualquier proyecto de INVAP puede hacer uso de los conocimientos, instrumentales y talleres de las distintas áreas de servicio. Como sucede en la mayor parte de las estructuras matriciales, es frecuente que el quehacer de un grupo de trabajo de servicio específico cambie de un área a otra, de acuerdo con el flujo de actividad de la empresa. Ciertas huellas de los proyectos grandes de INVAP permanecen hasta el día de hoy en los nombres de las áreas de servicio transversales.

Figura 8. Sistema de transporte liviano (STL)

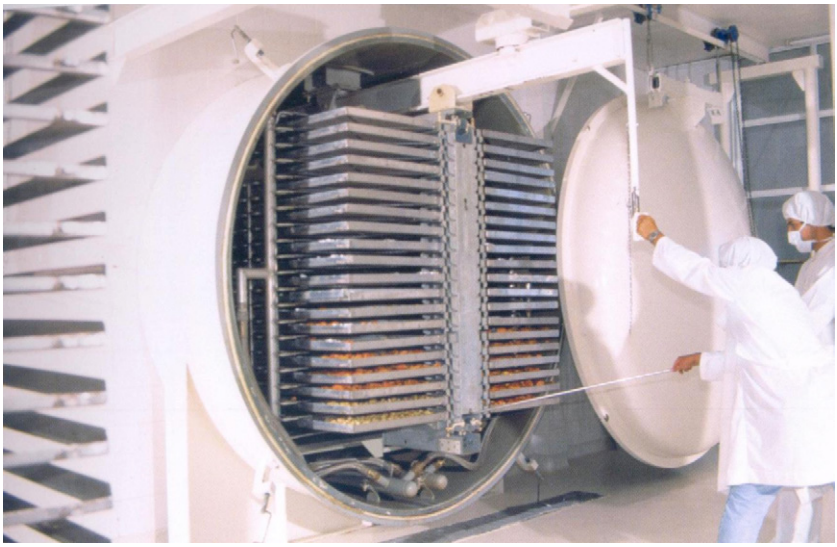
El sistema de transporte liviano es uno de los primeros desarrollos de INVAP. Se utilizaba para que los empleados de INVAP pudieran llegar a plantas distantes en época invernal y de tormentas de nieve.
Fuente: INVAP (s/f: 43).

Figura 9. Planta de liofilización

La liofilización es un proceso de deshidratación en atmósfera fría que permite la preservación de materiales biológicos. Se utiliza frecuentemente para conservación de comida.

Fuente: INVAP (s/f: 90).

Figura 10. El túnel de liofilización



Fuente: INVAP (s/f: 91).

De este modo, INVAP puede ser clasificada como una *empresa de base tecnológica* o una *firma de nueva tecnología* (Eisenhardt y Brown, 1998; Baldwin y Gellatly, 1998; Sarason y Tegarden, 2001). Además, puede considerarse tanto una *adhocracia* debido a su foco en la resolución de problemas complejos (Mintzberg, 1983), como un *híbrido de alta confiabilidad/ alta eficiencia* por la naturaleza de los productos que comercializa (por ejemplo, reactores nucleares) *vis-à-vis* el foco en gestión de proyectos de variada naturaleza hechos a medida conforme a los requerimientos de sus clientes (Weick y Roberts, 1993; Weick, Sutcliffe y Obstfeld, 1999; Weick y Sutcliffe, 2001). A pesar de que INVAP produce tecnología, la empresa dista de poder ser considerada un laboratorio de alta tecnología. La mayor parte de los desarrollos de INVAP están relacionados con tecnologías de algún grado de madurez –esto es, tecnología estabilizada y despojada de las controversias científico-tecnológicas que tuvieron las primeras versiones de los productos que hace INVAP (Latour, 2005)–. A pesar de esto último, la empresa no utiliza técnicas de copia industrial como ingeniería reversa. La habilidad distintiva de INVAP yace en la integración de conocimientos interdisciplinarios (Shinn, 2005; Shinn y Joerges, 2002), esto es, ciertos desarrollos tecnológicos específicos que pueden ser transferidos –una vez efectuadas las transformaciones necesarias (Callon, 1986)– de un área tecnológica a otra.

Figura 11. Radares

INVAP desarrolló un radar secundario (el tipo de radar utilizado comúnmente para aeronavegación comercial) y se encuentra trabajando en el desarrollo de un radar primario de vigilancia (con fines militares).
Fuente: INVAP (s/f: 131).

Figura 12. Aerogeneradores

Existe un plan nacional para la instalación de aerogeneradores en la Patagonia. INVAP es un proveedor potencial de este tipo de tecnología.
Fuente: INVAP (s/f: 95).

MARCO TEÓRICO

Este estudio explora al detalle las dinámicas de seis tecnologías de investigación (TI) en INVAP: Terry Shinn (Shinn y Joerges, 2002; Shinn, 2005) acuñó el término *tecnologías de investigación* al estudiar a fines de siglo XIX la emergencia de artefactos de propósito general en la región donde hoy está emplazada Alemania (Shinn, 2001a). Durante las primeras décadas del siglo XX, estos dispositivos de propósito general también aparecieron en otros países: Estados Unidos (Shinn 2001b), Francia (Shinn, 1993), el Reino Unido, Japón y Rusia. Este movimiento de TI produjo una serie de artefactos de propósito general, por ejemplo: el motor eléctrico (Baird, 2004), el ultracentrifugador (Elzen, 1986), el rumbatrón (Shinn, 2001b), el espectroscopio de Fourier (Johnston, 2001), la ingeniería química (Rosenberg, 1998), el motor a vapor, el lenguaje C++ orientado a objetos de simulación, el transistor, el chip y los circuitos integrados, la computadora y el láser. La mayor parte de estos artefactos de propósito general son "invisibles" ante los ojos de los usuarios de tecnología, es decir, los desarrollos de TI quedan –la mayor parte de las veces– escondidos dentro de los productos finales "más visibles" que son tan del agrado de los académicos de comercialización y finanzas. Muy a menudo los usuarios de desarrollos de TI ignoran su existencia por completo. Sin embargo, las TI pueden ser fácilmente encontradas dentro de una vasta gama de las famosas innovaciones orientadas al mercado (Von Hippel, 1978, 1985; Wheelwright y Clark, 1992a, 1992b; Pisano, 1996).

Las TI pueden ilustrarse mediante tres características centrales (Shinn y Joerges, 2002; Shinn, 2005). Primero, las TI suponen producción genérica, a diferencia de producción de propósito específico. Las TI pueden dar cuenta de la construcción de un instrumento científico concreto o de una metodología para detección, mensurabilidad o control. El diseño de estos artefactos genéricos debe ser lo suficientemente flexible para que puedan ser incorporados a una variedad de productos finales. Los dispositivos de propósito general deben tener el potencial de ser desensamblados (desasociados) de un producto concreto para, luego, ser reensamblados en otros –véase el esquema de asociaciones y sustituciones de Latour (1987)–. Tras haber realizado las transformaciones necesarias, cualquier TI puede ser reincorporada a una gama variada de líneas de desarrollo tecnológico o productos. Toda vez que los dispositivos de propósito general van dirigidos hacia públicos múltiples, las TI deben poseer la capacidad de ser ensambladas y reensambladas sucesivas veces dentro de diferentes productos que son diseñados a medida para satisfacer una gama ecléctica de necesidades de usuarios.

Segundo, el trabajo relacionado con las TI supone un espacio intersticial, multiprofesional, de cruce de fronteras de las disciplinas académicas canónicamente concebidas. Este aspecto habla de movimiento y transformación desde una disciplina u organización hacia otra/s. Tercero, los dispositivos genéricos contribuyen a incrementar la precisión. Esfuerzos para la producción de TI pueden transformar unidades de medida, patrones o estándares[4] –véase la incorporación de la métrica de un voltio por octava en el diseño del teclado Moog (Pinch, 2008)–. Un nuevo lenguaje y paradigma suelen acompañar la aparición de estos artefactos genéricos. Acorde a la definición de Shinn, las TI de INVAP nunca fueron solo concebidas para un área específica o para una línea de trabajo en particular. Más de un departamento o proyecto organizacional se ha beneficiado con las seis TI presentadas en este artículo.

A diferencia del régimen de producción de tecnología disciplinario convencional, las TI son hijas, por lo general, de un régimen transversal de producción de conocimiento. Este régimen transversal de Shinn supone atravesar las fronteras de los campos académicos tradicionales, a la usanza de la ingeniería heterogénea de John Law (1986). De acuerdo con Shinn y Joerges, "las tecnologías de investigación se encuentran entre la ciencia y la ingeniería, entre la academia y la empresa" (Shinn y Joerges, 2002: 207). A diferencia del régimen de producción de conocimiento formal, a la vez que centrado en una disciplina concreta, Shinn resalta que fue un régimen transversal e indefinido en términos de campos académicos el que permitió la emergencia de las TI desde fines del siglo XIX. Ese tipo de conocimiento puede fácilmente fluir de un campo a otro –de hecho, la noción de campo (Bourdieu, 2003) se vuelve un tanto irrelevante, y hasta puede considerarse un estorbo, para comprender mejor este concepto.

Si bien se trabajó para este estudio con el concepto de tecnologías de investigación, es dable aclarar que las TI que fueron identificadas en INVAP no se relacionan completamente con el énfasis que Shinn (Shinn y Joerges, 2002; Shinn, 2005) le adscribe a ese concepto en términos de instrumentación y dispositivos concretos. De acuerdo con los datos de campo recabados, las TI de INVAP (es decir, los productos de un proceso de aprendizaje transversal) son una serie de desarrollos tecnológicos o metodologías de trabajo que se originaron en un proyecto o área y luego fueron reutilizados

[4] Estos estándares no solo dan cuenta de nuevas unidades de medida; puede tratarse también de estándares de calidad, como sucede en los talleres de INVAP, o estándares de seguridad informática, como los de producción de *software* en INVAP. Ambos temas serán tratados en detalle más adelante.

–habiendo sido transformados a tal efecto– por otro proyecto o área. La mayor parte de estas TI se relaciona mucho más con prácticas de desarrollo tecnológico y su gestión (por ejemplo, el análisis estructural, el diseño de ecuaciones térmicas y la conformación de alianzas tecnológicas) que con la invención de artefactos concretos, como el chip y el láser. De acuerdo con gran parte de los testimonios de los entrevistados, en INVAP nunca se ha hecho investigación en la frontera del conocimiento. El *desarrollo* juega un rol mucho más preponderante en INVAP que la *investigación*.

La conceptualización evolucionista de capacidades dinámicas (CD) de Teece, Pisano y Shuen (1997) complementa y contribuye a sortear la mayor parte de las limitaciones de la perspectiva de tecnologías de investigación antes reseñada –por ejemplo, la idea de conocimiento *qua* activo organizacional y su énfasis en instrumentación. De acuerdo con Teece, Pisano y Shuen (1997), se llama CD a la dinámica conjunta de a) desarrollos tecnológicos, b) nuevas formas organizacionales emergentes y c) nuevas pautas de gestión (coordinación) vinculadas al desarrollo tecnológico. Este enfoque de las CD reconoce como antecedentes pertinentes a las rutinas de Nelson y Winter (1982) y la teoría de la contingencia (Lawrence y Lorsch, 1967). Por ende, esta perspectiva es una combinación de economía heterodoxa no positivista y aspectos clásicos de la teoría de la organización. A nivel de contenido, las CD dan cuenta de rutinas idiosincrásicas y ubicuas a una organización específica –es decir, no emanan de esta corriente postulados o pautas de gestión generalizables a un sinnúmero de organizaciones. Siguiendo esta perspectiva basada en los recursos (de la que forman parte las CD), se puede decir que las CD entienden a las organizaciones como un conglomerado de recursos valiosos, escasos, inimitables e insustituibles en constante evolución (Eisenhardt y Martin, 2000). Si consideramos a las TI como la parte a) –desarrollos tecnológicos– aun así precisamos las partes b) y c) para hablar de capacidades dinámicas. Por lo tanto, el énfasis de este análisis no está depositado en desarrollos tecnológicos concretos de INVAP. Interesan solo en la medida en que hablen también de transformaciones vinculadas a b) elementos de la estructura organizacional y c) pautas de gestión organizacional.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

El trabajo de Thomas, Versino y Lalouf (2008) ha identificado y caracterizado una serie de etapas dentro de la trayectoria sociotécnica de INVAP. Este artículo destaca la importancia del régimen transdepartamental de

producción de conocimiento. Los autores distinguieron cuatro etapas de desarrollo sociotécnico en INVAP. Identificaron y describieron minuciosamente cada una de ellas destacando los cambios en la composición de la cartera de productos finales. Siguiendo esta línea de abordaje, INVAP primero construyó y luego utilizó varias *capacidades tecnológicas* (los autores, de hecho, han acuñado este concepto en alusión a las tecnologías de investigación de Shinn) para desarrollar su ecléctica cartera de productos durante las etapas antes referidas. No obstante, Thomas, Versino y Lalouf han prestado poca –o ninguna– atención a la naturaleza y dinámica de este conocimiento interdisciplinario que atraviesa fronteras departamentales, ni al proceso de transformación que estos desarrollos embrionarios deben sufrir para dar forma a estas *capacidades tecnológicas*. Por último, las implicancias de gestión y organización de estos desarrollos tampoco formaron parte del abordaje de estos autores.

Este estudio busca justamente cubrir este vacío. Siguiendo la perspectiva de Shinn (Shinn y Joerges, 2002; Shinn, 2005), nuestra pregunta de investigación preliminar intentó identificar y caracterizar las tecnologías de investigación de INVAP, solo mencionadas en el trabajo de Thomas, Versino y Lalouf (2008). De esta manera, la incógnita que orientó el comienzo de este estudio fue *¿cuáles fueron las elaboraciones o los desarrollos de un área en particular que, una vez que atravesaron fronteras departamentales, fueron de utilidad –practicadas las transformaciones necesarias– para otras áreas tecnológicas o departamentos?* Conforme a esta línea de investigación, fue realizada una lista preliminar no exhaustiva de seis TI. Como requisito mínimo, cada una está vinculada a las actividades de dos o más departamentos tecnológicos en INVAP. Cabe destacar que INVAP posee muchas más líneas de producción tecnológica, pero la mayor parte de ellas se encuentra vinculada a un área tecnológica específica –léase carentes de las implicaciones interdisciplinarias buscadas para este estudio. A modo de ejemplo, ciertos desarrollos del grupo y del taller de óptica[5] están solamente vinculados al área aeroespacial y no fueron luego transformados o readaptados por ninguna de las otras cuatro áreas tecnológicas de INVAP. Existen también otros desarrollos de óptica (de distinta naturaleza que los anteriores) que están vinculados al área nuclear, pero que tampoco han estado asociados a desarrollos de otras áreas de la

[5] INVAP cuenta con un taller de óptica. Ni el monto de la inversión en términos de presupuesto corporativo asignado ni la importancia relativa en términos organizacionales han sido tomados en cuenta como criterios para conformar la ontología de las TI para este estudio.

empresa.[6] Por ende, *óptica* no puede ser considerada una de las TI que abordará este estudio.

Dado que este artículo plantea que transformaciones organizacionales y cambios en prácticas de gestión pueden estar relacionados a la emergencia de las TI –siguiendo la definición estricta de las CD–, la segunda pregunta de investigación de este estudio busca justamente abordar este tipo de implicaciones: *¿ha habido algún tipo de transformación organizacional o en las prácticas de gestión relacionadas al desarrollo de las seis* TI*?* Mediante un nuevo cuestionario breve, algunos de los entrevistados que participaron de la primera fase de investigación fueron abordados nuevamente para que aclararan y detallaran sus puntos de vista sobre estos temas.

MÉTODOS

La fase exploratoria preliminar de este estudio ha incluido el relevamiento de las siguientes fuentes de datos: una entrevista con Hernán Thomas (un investigador que analizó las trayectorias sociotécnicas de INVAP previo a este estudio); una reseña bibliográfica minuciosa de temas de producción de conocimiento tecnocientífico; fuentes de datos secundarias como por ejemplo *papers*[7] que han escrito los miembros de INVAP, publicaciones institucionales, la página web de INVAP y artículos no académicos sobre proyectos recientes de la empresa; material académico y conversaciones informales con especialistas en ingeniería nuclear y aeroespacial.

La segunda fase de investigación incluyó entrevistas narrativas en profundidad (Silverman, 1993; Jovchelovitch y Bauer, 2000) con aproximadamente veinte entrevistados de distintas áreas tecnológicas y de servicio de INVAP –en su mayoría, directivos y profesionales de la empresa. Los cuestionarios abarcaban cinco áreas exploratorias: a) caracterización de la empresa/área, b) caracterización de las TI vinculadas al área, c) descripción

[6] En lo que a óptica respecta, en INVAP se trabajó con lentes para cámaras en el marco del área aeroespacial y se hicieron estudios con láser (vinculados a la producción de radioisótopos) dentro del área nuclear. Ambos proyectos son independientes y no poseen vinculación alguna más allá de que ambos pueden ser catalogados como "de Óptica". Los grupos que trabajaron en ambos proyectos son totalmente independientes.

[7] Hay un número muy reducido de publicaciones académicas que han escrito los miembros de INVAP. Esto fue señalado en la descripción de la empresa al comienzo de este artículo. La mayor parte de estos artículos son presentaciones en congresos. El contenido de estos *papers* está directamente relacionado con algunas líneas de actividad tecnológica de INVAP.

del sendero evolutivo intraorganizacional de las TI, d) descripción del sendero evolutivo interorganizacional de las TI y e) sustentabilidad futura/acciones pertinentes a la gestión de las TI. Para este estudio, se privilegió el acceso a entrevistados con filiación interdepartamental. Todas las entrevistas fueron grabadas de forma digital. El *software* ATLAS.ti se utilizó para compilar y codificar los datos. La información más relevante fue clasificada dentro de seis categorías analíticas especulativas. Se construyó una categoría por cada una de las TI que conformaron el análisis. Finalmente, detalles sobre cambios organizacionales y en las prácticas de gestión (relacionados con las seis TI identificadas) fueron monitoreados durante las entrevistas para dar cuenta de la posible emergencia de CD organizacionales.

DISCUSIÓN

Como ya fue mencionado, los primeros desarrollos de INVAP en el área nuclear datan de fines de las décadas de 1970 y 1980. La mayor parte del flujo de actividades de las demás áreas de la empresa (aeroespacial, industrial, equipamiento médico y científico, y gobierno y defensa) han comenzado recién a partir de mediados de la década de 1990. Las políticas públicas de comienzos de la década de 1990 en Argentina establecieron una abrupta desinversión de fondos públicos en las áreas de incumbencia de la empresa y cambiaron definitivamente la INVAP *qua* organización estrictamente nuclear. Por aquella época, el gobierno argentino decidió vender o concesionar la mayor parte de las sociedades del Estado y comenzó progresivamente a desinvertir –entre otras cosas– en desarrollos nucleares (abarcando la medida emprendimientos como, por ejemplo, los reactores experimentales de INVAP/CNEA). Por lo tanto, y en virtud de este escenario político, a comienzos de la década de 1990, INVAP salió a buscar nuevos mercados internacionales para su cartera nuclear al mismo tiempo que se hacían reducciones sustanciales de costos y de recursos humanos. A pesar de que hubo algunos desarrollos no nucleares que antecedieron a esta crisis, también en este momento se comenzó a pensar seriamente en líneas de actividad tecnológica potenciales diferentes a las nucleares que dieron origen a INVAP.

Cabe mencionar aquí que, dado este particular sendero evolutivo organizacional, la mayor parte de las TI de INVAP tienen orígenes vinculados a la actividad nuclear, sin embargo, no todas han seguido un mismo derrotero interdepartamental.

Seis TI fueron identificadas partiendo de los testimonios de los entrevistados. Como mínimo, cada una ha nutrido dos o más líneas de desarrollo

tecnológico (o áreas tecnológicas de la empresa): a) electrónica, b) guiado y control, c) análisis estructural, d) térmica, e) desarrollo de s*oftware,* f) mecanizado especial de piezas.

a) Dentro de todas las áreas tecnológicas de INVAP se hace algún tipo de desarrollo de *electrónica*. El diseño, fabricación y testeo (de las clásicas plaquetas verdes de circuitos integrados, similares a las que pueden encontrase dentro del CPU de una computadora personal) yacen en la centralidad de las actividades de electrónica de INVAP. Estas placas electrónicas pueden encontrase dentro de la gran mayoría de los productos de INVAP: el panel de control de reactores nucleares, satélites, radares y unidades de cobaltoterapia, entre otros. Merced a los desarrollos hechos con placas de integrados, los productos de INVAP poseen propiedades específicas: niveles de bajo ruido extremo es un desarrollo de electrónica, por ejemplo.

El uso extensivo de electrónica en todas las áreas de INVAP contribuyó al desarrollo de técnicas similares en lo atinente al proceso productivo de las placas de integrados (utilizando técnicas como control numérico computarizado o caldelería); el procedimiento de testeo; la integración de estas placas de circuitos integrados dentro de productos concretos; y la puesta a punto de estas placas una vez que se encuentran operativas (procesos de aseguramiento de la calidad y certificación). Además, la capacidad organizacional que posee INVAP para monitorear la rápida dinámica de cambio de mercado que tienen los componentes de electrónica, literalmente actualiza regularmente toda su infraestructura de conocimiento. Esto último abarca a todos los productos de INVAP.

Ingenieros y técnicos de electrónica trabajan en todas las áreas de INVAP listadas en la primera sección de este artículo. A pesar de que existe un área de *staff* transversal llamada precisamente electrónica, las actividades de muchas áreas y grupos de trabajo en la empresa tienen que ver con circuitos integrados en cierta medida. Por lo tanto, las lecciones aprendidas en lo que respecta a electrónica pueden ser fácilmente transferidas de un área a otra. Por ejemplo, el módulo radiante de los radares de INVAP puede encontrase también dentro del satélite SAOCOM. Si bien la potencia (Watt) del módulo radiante del satélite es más débil que la del radar, un diseño similar centralizado (de la electrónica del dispositivo) fue utilizado para ambos módulos radiantes.

b) *Guiado y control*, a diferencia de electrónica, claramente constituye un área de *staff* relacionada mayormente al área tecnológica aeroespacial. De hecho, el nombre del área refiere al "módulo guiado y control de un saté-

lite". "Guiado" tiene que ver con la construcción del sistema de sensores y actuadores de un satélite. Esto se refiere al grupo de algoritmos que literalmente "actúa" de acuerdo con los datos que van siendo relevados por los sensores. Por ejemplo, la posición de un satélite en el espacio depende de los datos proporcionados por tres sensores de forma conjunta: uno que apunta al Sol, otro que está direccionado hacia la Tierra y otro que localiza al satélite dentro de un mapa estelar. Guiado y control es extremadamente relevante en el ámbito aeroespacial, ya que la provisión de energía de un satélite, entre otras cosas, depende de su posición en el espacio. Los paneles solares deben apuntar hacia el sol durante toda la vida útil de un satélite. En el ámbito aeroespacial "guiado" y "control" van juntos porque una misión satelital completa puede arruinarse si los paneles de un satélite no logran establecer el aprovisionamiento de energía.

En el ámbito nuclear, la parte de "guiado" de esta TI es reemplazada por "instrumentación" (de un emplazamiento nuclear). Por lo tanto, "instrumentación" aquí tiene más que ver con medición de parámetros físicos (temperatura, flujo de neutrones, etc.) y juegan un rol similar al "guiado" del área aeroespacial.

La parte de "control" de guiado y control se relaciona con los fallos potenciales. Dado que los fallos –tanto en un reactor nuclear como en una misión satelital– pueden llegar a ocasionar graves consecuencias, frecuentemente los sistemas más críticos son duplicados, e incluso triplicados, utilizando un criterio de "dos-de-cada-tres". La redundancia del sistema, por lo tanto, constituye un parámetro de diseño central en el control, tanto en el ámbito nuclear como en el aeroespacial. En algunos casos, control por redundancia da cuenta de la repetición de un mismo sistema (idéntico); por lo tanto, si un sistema falla, el sistema duplicado entra en operación de forma automática. A modo de ejemplo, las barras de control constituyen el principal mecanismo de control en un reactor nuclear: un conjunto de barras de cadmio caen en el tanque reflector del reactor deteniendo la reacción en cadena que produce la fisión.

También en el ámbito nuclear, no obstante, es frecuente tener distintos sistemas de seguridad y control como alternativa. Por ejemplo, los sensores sismográficos pueden automáticamente activar el mismo sistema de seguridad antes referido (las barras de cadmio). Existe también un sistema de control alternativo para detener una reacción nuclear que se utiliza para situaciones de emergencia: en caso de que fallen las barras de cadmio, una solución de gadolinio que absorbe neutrones puede inundar el espacio físico del reactor. Por lo tanto, control por redundancia puede tener que ver

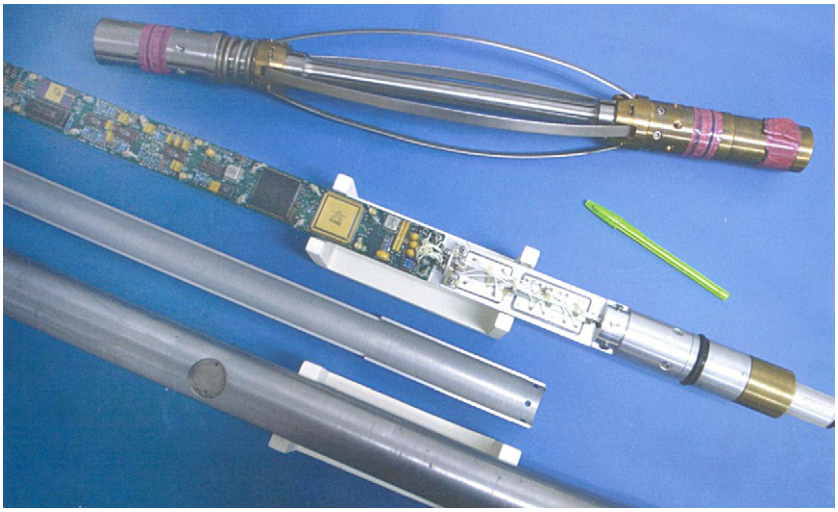
con el mismo (las barras de cadmio) o con un mecanismo de control alternativo (la solución que absorbe neutrones). El control por redundancia en reactores nucleares se relaciona con un mismo propósito al que concurren distintos senderos de acceso. Ambos subsistemas de control (el nuclear y el aeroespacial) son similares y distintos al mismo tiempo. Los problemas nucleares y aeroespaciales no se parecen en lo más mínimo. Sin embargo, los mecanismos de control para asegurar la operación diaria juegan un rol preponderante en ambos dominios.

Es dable aclarar que parte de la habilidad distintiva relacionada con guiado/instrumentación y control fue transferida a un conjunto de productos relativamente recientes de las áreas de Industria y de Gobierno y Defensa. A modo de ejemplo, el *measure while drilling* (véase figura 13) es un dispositivo desarrollado por INVAP que guía las actividades de perforación para la extracción de petróleo que utiliza una cámara de desarrollo aeroespacial relacionada, precisamente, con las habilidades acumuladas en guiado y control. Estas cámaras satelitales han sido también utilizadas en otros productos, como el sistema de detección temprana de incendios forestales y el sistema de control pesquero. Estos artefactos monitorean incendios forestales y pesca comercial fraudulenta en una región geográfica dada.

c) *Análisis estructural* estudia el comportamiento de una estructura específica cuando es sometida a una serie de cargas. A modo de ejemplo, similares ensayos vibratorios fueron realizados en INVAP para el edificio de un reactor nuclear (una evaluación *ex ante* de los efectos de un terremoto potencial sobre la estructura) y para el daño potencial que el lanzamiento del cohete pueda llegar a ocasionar a los componentes de un satélite espacial. A pesar de que las cargas a las que un terremoto somete a una estructura y las del lanzamiento de un cohete son completamente diferentes (se trata de distintas magnitudes vibratorias y distintos tipos de impacto sobre cada estructura) las ecuaciones analíticas y la tecnología utilizada para realizar el ensayo vibratorio han sido similares en ambas áreas tecnológicas. De hecho, en este caso en particular, el mismo grupo de ingenieros trabajó para las áreas nuclear y aeroespacial.

Más aún, una mesa vibratoria (un *shaker*, de acuerdo con la jerga industrial) fue utilizada para los ensayos de los satélites y también fue parte de los procedimientos de certificación para el reactor OPAL en Australia. Con el *shaker* se testean tanto la supervivencia de los componentes de un satélite espacial a las vibraciones del lanzamiento como los procedimientos de seguridad de un reactor nuclear. Como fue previamente señalado,

Figura 13. *Measure while drilling* (extracción petrolera)



El *measure while drilling* guía las actividades de cavado de pozo.
Fuente: INVAP (s/f: 87).

al comienzo de un terremoto las barras de cadmio deben automáticamente detener las operaciones dentro de un reactor nuclear. Los ingenieros de INVAP construyeron una columna *ad hoc* de la que colgaba una barra de cadmio (similar a la que puede encontrarse en un reactor nuclear) para obtener la certificación sísmica del reactor OPAL. El *shaker* –originario del área aeroespacial– también fue utilizado es ese procedimiento. La certificación final del reactor (otorgada por ARPANSA, la entidad regulatoria australiana en materia nuclear) dependió precisamente de este ensayo.

d) Hasta cierto punto, las habilidades de INVAP en el ámbito nuclear están circunscriptas a reactores pequeños, esto es, reactores diseñados para propósitos académicos y para la producción de radioisótopos. Estos reactores experimentales son, por lo general, más pequeños en su dimensión que las plantas de generación de energía nuclear. Cualquier tipo de reacción nuclear genera calor, y en las plantas de generación de energía nuclear se genera la mayor cantidad posible de energía (calor) para luego transformarlo en electricidad. En contraste, en un reactor nuclear experimental la energía liberada por la reacción debe ser desechada y es considerada un desperdicio.

Por lo tanto, hay una serie de *ecuaciones térmicas* relacionadas con la remoción de calor o de energía –ya que el calentamiento por radiación

puede incluso alterar las características de los materiales que utiliza un reactor experimental– que han sido desarrolladas por el área nuclear de INVAP.

Parte de este conocimiento térmico ha sido transformado en otro conjunto de ecuaciones que monitorean la disipación interna de los componentes electrónicos de un satélite. Esta "otra" transferencia de calor se refiere a la disipación de calor de los componentes de un satélite en la extremadamente baja temperatura del espacio exterior y a la brecha térmica entre la superficie soleada y la oscura de un satélite. Gran cantidad de calor puede generar vapor y, por lo tanto, hielo, dada la baja temperatura espacial. Se debe aclarar que el problema termo-hidráulico de los reactores nucleares es diferente al problema de termo-radiación de los satélites.[8] Dos grupos de trabajo distintos desarrollaron cada uno de estos conjuntos de ecuaciones térmicas. No obstante, algunas personas fueron transferidas desde el área nuclear a la aeroespacial para diseñar el segundo conjunto de ecuaciones. Por otra parte, ambos grupos de ecuaciones fueron construidos utilizando el mismo paquete de *software.*

Finalmente, esta línea de investigación térmica tuvo sus inicios en la década de 1980 con los contenedores para materiales radioactivos GURI. El primer esbozo de ecuaciones térmicas proviene del diseño de los contenedores GURI. No solo los materiales o desechos radioactivos generan calor, sino que, además, estos contenedores debían ser compatibles con estándares regulatorios internacionales que suponen tener en cuenta una serie de consideraciones térmicas y mecánicas para su diseño y posterior construcción.

e) La actividad aeroespacial y la nuclear suponen al día de hoy *desarrollos de software*. El desarrollo de *software* de alta confiabilidad para estos ámbitos supone un proceso de elaboración minuciosamente documentado, un proceso intensivo de testeo y un número considerable de restricciones para su diseño que deben tenerse en cuenta. En reactores nucleares, los desarrollos de *software* contribuyen a una operación segura. Cabe aclarar que buena parte del *software* que desarrolla INVAP se realiza a través de subcontrataciones con el ámbito universitario argentino –INVAP colabora con 29 organizaciones educativas públicas y privadas. El *software* es tan solo una incorporación relativamente reciente en reactores nucleares. Los reactores viejos (previos a la década de 1990) eran mayormente *hardware*; no tenían, por ejemplo, control computarizado como los más actuales.

[8] Termo-hidráulica hace referencia al transporte conjunto de masa y calor. La termo-radiación da cuenta de que no hay masa involucrada en el transporte de calor. Esta es la diferencia central entre los problemas térmicos que se suscitan en ambas áreas.

Es importante mencionar que problemas de programación (*bugs*) pueden echar a perder una misión satelital completa. Por otra parte, una vez que el satélite se encuentra en órbita, solo en contadas ocasiones este tipo de problemas puede ser subsanado sin tener acceso físico al satélite. De más está la aclaración que este tipo de procedimiento es extremadamente oneroso a la vez que poco frecuente.

Ceñirse a estándares de programación confiables procede originalmente del área aeroespacial. Luego, esta habilidad para el desarrollo de *software* confiable fue transferida al área nuclear, como fue previamente señalado. La mayor parte de los productos recientes de INVAP de las áreas Industrial y de Gobierno y Defensa hacen también algún uso de las habilidades aquí reseñadas para producción y testeo de *software*. En la actualidad, la mayor parte de las áreas de INVAP las utilizan. Cabe aclarar que los requisitos de seguridad en *software* del área aeroespacial (de donde emanan la mayor parte de los estándares antes referidos) y los de la automatización industrial más convencional son completamente distintos.

f) La última tecnología de investigación es el *mecanizado especial*, que se relaciona mayormente con las actividades de los talleres de INVAP. La empresa posee un conjunto de talleres propios a la vez que terceriza también algunas actividades. A lo largo de los años, en todos estos talleres se han desarrollado habilidades técnicas específicas para el mecanizado de piezas de alta complejidad. La mayor parte de los productos de INVAP requiere de una serie de componentes escasos y de compleja manufactura que no son fáciles de hallar en el mercado industrial argentino. Esta tercerización implicó la formación de proveedores y se difundieron estándares de calidad a través de todos los talleres vinculados.

A modo de ejemplo, los componentes de un satélite requieren de procedimientos de mecanizado de alta precisión, toda vez que la minimización de masa constituye el parámetro de diseño central de cualquier producto aeroespacial. Por ende, el área aeroespacial suele utilizar y desarrollar materiales compuestos de bajo peso para sus productos, que deben ser duros y resistentes, pero también de peso liviano –este tipo de materiales fueron posteriormente utilizados para otros productos de la empresa. Por otra parte, las soldaduras de un satélite deben poder soportar diferentes tipos de cargas térmicas y vibratorias. La mayor parte de estos materiales compuestos no pueden ser soldados utilizando técnicas de taller convencionales. *Ipso facto* una variedad de técnicas de soldadura fueron desarrolladas –entre INVAP y los talleres tercerizados– para cumplir con las especificaciones de todas las áreas.

Por último, las propiedades químicas de ciertos materiales, como el control de corrosión, dependen de varias técnicas interdepartamentales, tales como el tratamiento de superficies, técnicas de pintura, zincado y anodizado. La mayor parte de las áreas de INVAP se ha beneficiado de alguna forma de la emergencia de este tipo de técnicas innovadoras que provienen de los talleres propios y de los subcontratados.

DESDE LAS TI Y HACIA LAS CD. EXPLORANDO Y EXPLOTANDO LAS TI

Primero y principal, cabe destacar que el desarrollo de dispositivos concretos –léase artefactos– yace en la centralidad de la literatura sobre tecnologías de investigación (Shinn y Joerges, 2001, Shinn, 2005). En este trabajo se utilizan las TI para hablar tanto de desarrollo de instrumentos (por ejemplo, placas de electrónica) como de construcción y creación de conocimiento, siguiendo la vertiente de Nonaka y Takeuchi (1999) con su concepción de conocimiento *qua* activo organizacional. Si bien el análisis térmico y estructural no puede ser considerado un instrumento tecnológico *per se*, estos saberes son ciertamente parte sustancial de la base de conocimiento de INVAP que puede ser desensamblada de un área tecnológica para luego ser reinsertada, tras haber realizado las transformaciones necesarias, en otro proyecto o área. A pesar de que esta base de conocimiento organizacional difícilmente puede llegar a ser comercializada como tal, debe tenerse en cuenta como un elemento relevante a la hora de tomar la decisión de aceptar o rechazar un nuevo encargo de desarrollo tecnológico.

Además, el desarrollo de TI no necesariamente implica ni da cuenta del desarrollo conjunto de capacidades dinámicas organizacionales (Shinn y Joerges, 2001, Shinn, 2005). No obstante, como ha sido mencionado en secciones previas de este artículo, el desarrollo de TI es un *factor contribuyente* relevante para el desarrollo de CD. Si volvemos a la definición de las CD de Teece Pisano y Shuen (1997), las dinámicas tecnológicas –similares a las TI de Shinn– deben ser analizadas *vis-à-vis* las transformaciones en formas organizacionales y pautas de gestión originadas a partir de estos desarrollos. Dicho de otro modo, los desarrollos tecnológicos carentes de implicancias organizacionales solo darían cuenta de un ejercicio intelectual por amor a la tecnología, similar al estudio que Latour (1996) ha hecho de Aramis. Se intentará destacar en esta sección algunas implicancias organizacionales y de gestión relacionadas a las seis TI presentadas en el acápite anterior. Una aclaración final consistiría en señalar que los autores de este artículo conocen acabadamente la noción de proceso de organizar (*organizing*) de Karl Weick

(1995), que comprende tanto dinámicas organizacionales como las de prácticas de gestión –de hecho, para Weick, ambas cosas son exactamente lo mismo. Si bien nuestra perspectiva está emparentada con la de Karl Weick, hemos decidido dividir ambos grupos de implicancias a título expositivo para este artículo.

Por último hay que aclarar que con *dinámica organizacional* damos cuenta de cambios en la especificación de roles, los criterios de agrupamiento de áreas, el flujo de trabajo, modalidades de trabajo grupal/intra- e interdepartamental, el proceso decisorio y la comunicación informal de diario no planificada –véase la conceptualización de estructura organizacional de Mintzberg (1983)–. Por otra parte, con *dinámica de gestión* se da cuenta de transformaciones en técnicas de gestión de proyectos, pautas de gestión intraorganizacional y modalidades emergentes de asociatividad interorganizacionales.

Dinámica organizacional. El régimen intersticial de producción de conocimiento de INVAP ha generado una serie de puestos de trabajo organizacionales centrados en alguna TI específica, que poseen la capacidad de migrar de proyecto en proyecto y de área en área. A pesar de que INVAP tiene características de organización matricial y combina las clásicas áreas tecnológicas (verticales) con áreas de servicio (horizontales), existen también gran cantidad de roles específicos de proyecto que no están incluidos en el organigrama formal de la organización. Hay dos expresiones estructurales claras –véanse los dispositivos de enlace de Mintzberg (1983)– de este régimen transitorio de producción de conocimiento. Primero, un miembro (por ejemplo, que trabaja en electrónica) puede dar soporte a distintos proyectos o áreas, de acuerdo con el flujo de actividades en INVAP –como es frecuente en estructuras matriciales. A menudo, expertos en ciertos campos específicos pueden encontrarse en alguno de estos puestos de trabajo versátiles. Estos expertos pueden asistir y dar soporte a una variedad de proyectos de la empresa en paralelo.

Segundo, ciertos roles (que frecuentemente conforman un grupo de trabajo especializado) pueden tener que migrar desde un área de origen hacia otra, también conforme a las oscilaciones en el flujo de proyectos de INVAP (el grupo de desarrolladores de análisis estructural previamente presentado y el de cálculo térmico, en rigor, forman parte del mismo grupo de modelística). En ambos casos, no se trata del mismo "conocimiento" o *savoir faire* tecnológico que transita inalterado de un lugar a otro. Más bien, tanto los expertos *pivot* (que pueden dar soporte a varios proyectos en paralelo) como estos grupos de trabajo móviles deben transformar su experiencia previa

para que sea de utilidad a otro proyecto o área. En otras palabras, ellos deben aprender las especificidades de los nuevos problemas que, solamente en parte, son semejantes a los problemas anteriores ya resueltos. Algunas de estas transformaciones del conocimiento previo han sido descriptas en el apartado anterior cuando fueron presentadas las seis TI.

Luego cabe destacar, también, que la dinámica de las TI precisa una serie de cambios en paralelo en áreas y roles organizacionales. A la vuelta de los años, los miembros de INVAP han aprendido nuevas técnicas para la producción, puesta a punto, ensayo, documentación y calificación final de varios dispositivos tecnológicos. Algunos miembros de INVAP también se han vuelto usuarios expertos de programas informáticos, herramientas específicas y técnicas analíticas: ellos tienen la capacidad de modelizar matemáticamente un problema tecnológico, han diseñado prototipos e instrumental específico, y siguen la evolución tecnológica y comercial de una serie de insumos clave. Todos estos cambios en la base tecnológica de la organización necesariamente han transformado la estructura organizacional de INVAP. El organigrama formal de INVAP (del cual puede encontrarse una versión simplificada en la página de internet de la empresa) presenta algunas discrepancias con el relato obtenido de las entrevistas de campo debido, justamente, a las especificidades estructurales aquí señaladas.

Por último, es dable mencionar que en INVAP la jerarquía organizacional contiene pocos niveles. A pesar de que solo algunos miembros de la organización toman decisiones acerca de la pertinencia de un proyecto, varios entrevistados han señalado que un recién llegado a la empresa, a las pocas semanas o meses de su ingreso, ya se encontraba inmerso en la construcción de un reactor nuclear en un país extranjero. Por lo tanto, las operaciones normales de INVAP están basadas en el aprendizaje de intramuros más que en la educación universitaria. Dos de los entrevistados, de hecho, han criticado fuertemente el perfil promedio del graduado universitario en ingeniería de las universidades argentinas, describiéndolo como poco pertinente para el tipo de actividades eclécticas que se llevan a cabo en INVAP. Uno de los entrevistados fue aun más allá argumentando que era preciso crear en la Argentina una carrera de ingeniero-no-especializado, que pueda estar a la altura de las heterogéneas demandas tecnológicas de INVAP. Los perfiles profesionales sobreespecializados, que abundan en el mercado laboral argentino, suelen inhibir el potencial traslado de una persona de proyecto en proyecto y de área en área.

Muy a menudo, en INVAP, decisiones centrales de un proyecto migran hacia expertos más que hacia los gerentes –véase la caracterización de HROS (Weick y Sutcliffe, 2001)–. Puede señalarse que el *savoir faire* es más

relevante que las relaciones de jerarquía organizacional y que el estatus de rol a la hora de emprender desarrollos tecnológicos. Esto se debe, una vez más, a la carencia de accionistas que típicamente suelen ejercer fuerte presión financiera sobre la toma de decisiones, reforzando el carácter jerárquico de una organización empresarial.

Dinámica de gestión. La mayor parte de los entrevistados mencionaron que una competencia central de INVAP radica en la modalidad de gestión de proyectos complejos. Proyectos tecnológicos de porte (como el reactor OPAL que la empresa construyó para el gobierno australiano) involucran la integración compleja de cientos de tareas que deben ser realizadas siguiendo parámetros estrictos de diseño, restricciones de costo y tiempo de entrega, y, a veces, en asociación con otras organizaciones. Por lo tanto, puede decirse que INVAP ha desarrollado –a la vuelta de los proyectos y de los años– una capacidad para mapear e integrar un proyecto completo, dividiéndolo en paquetes de trabajo susceptibles de ser gestionados de forma sencilla. A modo de ejemplo, socios franceses, húngaros y rusos fueron parte del proceso de desarrollo del reactor OPAL (además de las empresas australianas locales que estuvieron a cargo de las obras de ingeniería civil y de buena parte del montaje).[9] INVAP siempre ha quedado ante sus clientes como último responsable de la integración de todos los paquetes de trabajo que conforman un proyecto de gran porte.

Además, y dado que hemos descripto a INVAP como una *adhocracia* (Mintzberg, 1983), parece evidente señalar que su flujo de trabajo es discontinuo, conforme la demanda de proyectos tecnológicos. Esto hace que la cantidad de proyectos sea cambiante; trabajar para INVAP muchas veces se vuelve extremadamente demandante en términos de carga de trabajo, precisamente por esta razón. Parte de la dinámica organizacional descripta en la sección anterior está también relacionada con este flujo discontinuo de proyectos.

Esta capacidad para la gestión de proyectos complejos comprende los aspectos comerciales, financieros y de recursos humanos. A modo de ejemplo, una obra grande comienza un par de años antes de que sea asignado el proyecto: los trabajos de gran porte suponen un proceso de licitación extenso y demandante en términos económicos, a la vez que involucran asociaciones interorganizacionales con una compleja integración de cargas de trabajo. Toda vez que INVAP se ufana de desarrollar tecnología a la medida de las necesidades de sus clientes, los procesos de licitación de

[9] Una fuente fría que refrigera el núcleo del reactor OPAL y un corredor de neutrones estuvieron a cargo de los socios de INVAP en este proyecto.

los que participa la empresa incluyen, por lo general, una amplia gama de solicitudes de aclaración de lo expresado en los pliegos de licitación.[10] Las soluciones *ad hoc* de INVAP suelen ser diseñadas teniendo en cuenta estas múltiples solicitudes de aclaración entre la empresa y sus clientes.

Finalmente, un tema central a nivel de dinámica de gestión puede resumirse con la famosa dicotomía –en términos de desarrollo de tecnología– entre "el comprar o el hacer". Comprar supone evitar cualquier problema de desarrollo, pero puede también poner en riesgo la potencial integración tecnológica de aquello que se ha comprado. A su vez, la opción de hacer supone la heurística propia de cualquier desarrollo con resultados inciertos en función del tiempo y de la inversión a realizar. La elección entre la compra o el hacer puede darse a nivel de un módulo, de un subsistema o de un sistema integrado o dispositivo completo. Para peor, solo hay un número muy limitado de proveedores tecnológicos o socios que pueden alcanzar los estándares de calidad requeridos para los productos de INVAP. Cabe destacar también que los competidores de INVAP, es decir, los demás participantes en mercados tecnológicos especializados, tienden a acaparar rápidamente (a través de acuerdos de exclusividad) la mayoría de los socios potenciales para un proyecto específico.

CONCLUSIONES E IMPLICANCIAS PARA LA GESTIÓN

Este artículo destaca la importancia de la gestión de las TI dentro de una empresa de base tecnológica. De hecho, una serie de implicancias para el aprendizaje organizacional y la gestión de I+D pueden extraerse de este trabajo. El análisis aquí propuesto de las TI a nivel organizacional debe abarcar:

1. La identificación y descripción minuciosa de cada TI organizacional.
2. Una caracterización del sendero evolutivo de cada TI. Este detalle debería incluir complementariedades inter-TI y la transformación potencial

[10] Merced a la naturaleza de los productos de la empresa, INVAP frecuentemente debe hacer ofertas en licitaciones públicas de gobiernos nacionales. Por ejemplo, en el ámbito nuclear algunos países cuentan con proveedores nacionales de reactores. No hace falta ahondar en esto, pero la mayor parte de los proyectos nucleares en estos casos son automáticamente asignados a estos proveedores nacionales. Frecuentemente, a las empresas extranjeras no se les permite ofertar en dichos procesos de licitación. Por lo tanto, y con el correr de los años, los esfuerzos de INVAP han quedado circunscriptos a países emergentes (como Egipto y Argelia) y países económicamente maduros, aunque con escaso desarrollo nuclear (como Australia y los Países Bajos). El costo de presentarse a una licitación nacional puede llegar a estar en el orden de los millones de dólares norteamericanos.

de estas TI en capacidades dinámicas organizacionales (a través del monitoreo de cambios en la organización y de pautas de gestión aparejados a la dinámica de las TI).

3. La creación de áreas de intercambio, roles de vinculación interdepartamental o grupos de trabajo transitorios –véanse los dispositivos de enlace en Mintzberg (1983)–, que contribuyan a adecuar los desarrollos tecnocientíficos con el flujo de proyectos y de actividades de la organización.

4. La gestión de un patrón de diversificación industrial centrado en las capacidades dinámicas de la organización, que debe poseer la capacidad de sincronizar, en alguna medida, la evolución de las TI corporativas *vis-à-vis* la dinámica del sector industrial de la organización.

A pesar de que muchas organizaciones de base tecnológica han logrado desarrollar una cantidad considerable de TI, raras veces estas son incorporadas en las agendas corporativas de I+D. Los puntos arriba enunciados dan cuenta que la gestión de TI requiere de exploración y explotación de conocimiento (March, 1991). Exploración y explotación dan cuenta de algo más que tomar un inventario de los artefactos más recientes que la organización ha elaborado, como sugieren Nonaka y Takeuchi (1999). La gestión de TI supone monitorear la dinámica de cada TI y sus *interdependencias* cruzadas (Seijo, Ciancio y Cantero, 2008). Contribuye así a concentrar los esfuerzos organizacionales hacia una serie de líneas de investigación, impidiendo proliferaciones innecesarias de iniciativas de algún área aislada o de alguna disciplina académica de la que el resto de la organización no tenga noticia. Si bien no hace falta la mención, la incertidumbre impregna toda inversión en I+D centrada en TI. Dicho más claramente, una apropiada gestión de las TI no elimina de forma alguna la incertidumbre que rodea los resultados potenciales de este tipo de inversión organizacional. Para peor, las TI constituyen solo un factor contribuyente para arribar a las añoradas capacidades dinámicas organizacionales (Seijo, Ciancio y Cantero, 2008). No obstante, en I+D no nos encontramos jugando el juego de "donde invertir mejor" –que en reiteradas ocasiones ocupa la centralidad del conversar de académicos de I+D. El planeamiento de TI supone una toma de decisiones prospectiva a la vez que retrospectiva (Weick, 1995). La gestión de I+D hace un elogio del planeamiento y del aprendizaje prospectivo y retrospectivo, y no del más convencional tipo de proceso decisorio conocido como "pensar-primero" (Mintzberg, 2001), más vinculado a la literatura de emprendedores visionarios.

Por lo tanto, cabe desatacar que las tecnologías de investigación no son las capacidades dinámicas. La gestión de las TI supone un monitoreo

constante de transformaciones organizacionales y de prácticas de gestión relacionadas al desarrollo de las TI. Los frecuentes cambios no planificados en las especificaciones de roles y áreas, esquemas de alianzas y asociaciones, y en el proceso decisorio de la organización (por ejemplo, la elección entre hacer o comprar arriba detallada) forman también parte sustancial de la gestión de las TI.

La identificación y caracterización detallada de las CD organizacionales constituye un paso preliminar para poder definir un patrón de diversificación de cartera de productos de una empresa de base tecnológica como INVAP. Por lo tanto, monitorear los senderos evolutivos de cada TI puede llegar a complementar saludablemente el análisis de sector industrial más tradicional (véase Ansoff, 1957).

A modo de ejemplo, un conocimiento sólido de las CD organizacionales puede ser de utilidad para la aceptación o rechazo de nuevas solicitudes de desarrollo tecnológico que arriben a una organización determinada. Los tomadores de decisiones podrán, por ende, tener clara conciencia de qué fue hecho en el pasado, qué elementos requerirán de mayores o menores ajustes y qué tecnologías deberán ser desarrolladas desde cero.

El planeamiento de I+D en una empresa de base tecnológica como INVAP supone gestionar y llegar, como mínimo, a un balance entre el conjunto central de TI disponibles y la potencial conformación de I+D, las TI a ser transformadas y las TI (completamente nuevas) que deben ser desarrolladas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ansoff, I. (1957), "Strategies for Diversification", *Harvard Business Review*, 35, (5), pp. 113-124.

Baird, D. (2004), *Thing knowledge: A philosophy of scientific instruments*, Berkeley, University of California Press.

Baldwin, J. R. y G. Gellatly (1998), "Are there high-tech industries or only high-tech firms? Evidence from new technology-based firms", Working Paper Nº 120, Statistics Canada.

Bourdieu, P. (2003), *Los usos sociales de la ciencia,* Buenos Aires, Nueva Visión.

Bush, V. (1999) [1945], "Ciencia, la frontera sin fin. Un informe al presidente, julio de 1945", *Redes. Revista de estudios sociales de la ciencia y la tecnología,* 7, (14), pp. 89-156.

Callon, M. (1986), "Some elements of a sociology of translation: domestication of the scallops and the fishermen of St Brieuc Bay", en Law, J. (ed.*), Power, action and belief. A new sociology of knowledge?,* Londres, Routledge

(en español: "Algunos elementos para una sociología de la traducción: la domesticación de vieyras y los pescadores de la bahía de Saint Brieuc", en Iranzo, J. M. *et al.* (comps.), *Sociología de la ciencia y la tecnología*, Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1995).

Eisenhardt, K. M. y S. L. Brown (1998), "Time pacing: competing in markets that won't stand still", *Harvard Business Review*, 76, (2), pp. 59-69.

Eisenhardt, K. M. y J. A. Martin (2000), "Dynamic capabilities: what are they?", *Strategic Management Journal*, 21, pp. 1105-1121.

Elzen, B. (1986), "Two ultracentrifuges: A comparative study of the social construction of artefacts", *Social Studies of Science*, 16, (4), pp. 621-662.

Johnston, S.F. (2001), "In search of space: Fourier spectroscopy, 1950-1970", en Joerges, B. y T. Shinn (eds.), *Instrumentation between science, state and industry*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Jovchelovitch, S. y M. Bauer (2000), "Narrative interviewing", en Bauer, M. y G. Gaskell (eds.), *Qualitative researching with text, image and sound. A practical handbook*, Londres, Sage, pp. 57-74.

INVAP (s/f), *INVAP 30 años. Tecnología Argentina para el Mundo*, Buenos Aires, INVAP.

Latour, B. (1987), *Science in action*, Milton Keynes, Open University Press (en español: Latour, B., *Ciencia en acción*, Barcelona, Labor, 1992).

—— (1996), *Aramis or the love of technology*, Cambridge, Harvard University Press.

—— (2005), *Reassembling the social. An introduction to actor-network-theory*, Nueva York, Oxford University Press (en español: *Reensamblar lo social: una introducción a la teoría del actor-red*, Buenos Aires, Ediciones Manantial, 2008).

Law, J. (1986), "On the methods of long distance control: vessels, navigation, and the portuguese route to India", en Law, J. (ed.), *Power, action and belief: a new sociology of knowledge?*, Lancaster, Routledge, pp. 234-263.

Lundvall, B-Å. (1988), "Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation", en Dosi, G. *et al.* (eds.), *Technical change and economic theory*, Londres, Pinter.

March, J. (1991), "Exploration and exploitation in organizational learning", *Organization Science*, 2, (1), pp. 71-87.

Mintzberg, H. (1983), *Structure in fives: designing in effective organizations.* Engelwood-Cliffs, Prentice-Hall.

—— (2001), "Decision making: It's not what you think", *MIT Sloan Management Review*, 42, (3), pp. 89-93.

Nelson, R. y S. Winter (1982), *An evolutionary theory of economic change*, Cambridge, Harvard University Press.

Nonaka, I. y H. Takeuchi (1999), *La organización creadora de conocimiento*, Bogotá, Oxford University Press.

Pinch, T. (2008), "La tecnología como institución. ¿Qué nos pueden enseñar los estudios sociales de la tecnología?", *Redes. Revista de estudios sociales de la ciencia y la tecnología*, 14, (27), pp. 77-96.

Pisano, G. (1996), *The development factory: unlocking the potential of process innovation,* Cambridge, Harvard Business Press.

Rosenberg, N. (1998), "Chemical engineering as a general purpose technology", en Helpman, E. (ed.), *General purpose technologies and economic growth*, Cambridge, The MIT Press.

Sarason, Y. y L. F. Tegarden (2001), "Exploring a typology of technology-intensive firms. When is a rose a great rose?", *Journal of High Technology Management Research*, 12, pp. 93-112.

Seijo, G., M. Ciancio y J. Cantero (2008), "The triple uncertainty. R+D management by means of science and technology development at Tenaris", *2008 Academy of Management Annual Meeting*, Anaheim.

Shinn, T. (1993), "The grand Bellevue electroaimant, 1900-1940: birth of a research-technology community", *Historical Studies in the Physical Sciences*, 24, (1), pp. 157-187.

—— (2001a), "The research-technology matrix: German origins, 1860-1900", en Joerges, B. y T. Shinn (eds.), *Instrumentation between science, state and industry*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 29-50.

—— (2001b), "Strange cooperations: The U.S. research technology perspective, 1900-1955", en Joerges, B. y T. Shinn (eds.), *Instrumentation between science, state and industry*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, pp. 69-96.

—— (2005), "New sources of radical innovation: research-technologies, transversality and distributed learning in a post-industrial order", *Social Science Information*, 44, (4), pp. 731-764.

—— y B. Joerges (2002), "The transverse science and technology culture: dynamics and roles of research-technology", *Social Science Information*, 41, (2), pp. 207-251.

Silverman, D. (1993), *Interpreting qualitative data: methods for analysing talk, text and interaction*, Londres, Sage.

Teece, D. J., G. Pisano y A. Shuen (1997), "Dynamic capabilities and strategic management", *Strategic Management Journal*, 18, (7), pp. 509-533.

Thomas, H., M. Versino y A. Lalouf (2008), "La producción de tecnología nuclear en Argentina. El caso de la empresa INVAP", *Desarrollo Económico*, 47, (188), pp. 543-575.

Von Hippel, E. (1978), "Users as innovators", *Technology Review*, (80), pp. 3-11.
—— (1985), "Learning from lead users", en Buzzell, R. D. (comp.), *Marketing in an electronic age*, Boston, Harvard Business School Press.
Weick, K. (1995), *Sensemaking in organizations*, Thousand Oaks, Sage.
—— y K. Roberts (1993), "Collective mind in organizations: heedful interrelating on flight decks", *Administrative Science Quarterly*, 38, pp. 357-381.
—— y K. Sutcliffe (2001), *Managing the unexpected: assuring high performance in an age of complexity,* San Francisco, Jossey-Bass.
—— y D. Obstfeld (1999), "Organizing for reliability. Process of collective mindfulness", *Research in Organizational Behavior*, (21), pp. 81-123.
Wheelwright, S.C. y K. B. Clark (1992a), "Creating project plans to focus product development", *Harvard Business Review*, 70, (2), pp. 70-82.
—— (1992b), *Revolutionizing product development. Quantum leaps in speed, efficiency, and quality*, Nueva York, The Free Press.