



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



Universidad
Nacional
de Quilmes

Barrere, Rodolfo Martín

Información científica, tecnológica y de innovación. Producción, dinámicas y actores



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:

Barrere, R. M. (2016). *Información científica, tecnológica y de innovación. Producción, dinámicas y actores. (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de Quilmes, Bernal, Argentina Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes*
<http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/196>

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

Información Científica, Tecnológica y de Innovación. Producción, dinámicas y actores

Rodolfo Barrere

rbarrere@ricyt.org

Resumen

Esta tesis contiene un estado del arte en las dinámicas de producción y uso de información científica, con particular énfasis en los indicadores de ciencia, tecnología e innovación. Incluye también la aplicación de indicadores provenientes del análisis de redes, conformando una familia de indicadores relacionales cuya aplicación ofrece información de gran utilidad para el monitoreo de los procesos de colaboración, que actualmente resultan de creciente importancia en las actividades científicas y tecnológicas.

Palabras clave: información científica; indicadores; ciencia; tecnología; innovación

Universidad Nacional de Quilmes

Doctorado – Mención en Ciencias Sociales y Humanas

Información Científica, Tecnológica y de Innovación

Producción, dinámicas y actores

Tesis de doctorado

Rodolfo Barrere

Septiembre de 2010

Director:
Mario Albornoz

Presentación

Esta tesis contiene un estado del arte en las dinámicas de producción y uso de información científica, con particular énfasis en los indicadores de ciencia, tecnología e innovación. Incluye también la aplicación de indicadores provenientes del análisis de redes, conformando una familia de indicadores relacionales cuya aplicación ofrece información de gran utilidad para el monitoreo de los procesos de colaboración, que actualmente resultan de creciente importancia en las actividades científicas y tecnológicas.

Sin embargo, el proceso de varios años necesario para la culminación de este trabajo generó otros resultados que no aparecen en el índice de este documento. El más evidente de ellos fue mi propio desarrollo profesional, ganado en la actividad diaria en varias instituciones ligadas con este tema. Estoy convencido de que la exploración bibliográfica realizada y la reflexión sobre estos temas, sin la experiencia ganada a partir del trabajo de todos los días en la producción y uso de información e indicadores en ciencia y tecnología, hubieran dado como resultado un trabajo mucho menos rico.

En el Centro de Estudios sobre Ciencia, Desarrollo y Educación Superior – REDES, donde di mis primeros pasos en la investigación, fue que conocí el mundo de la información científica y los indicadores. Así fue que comenzó mi fascinación con el tema, encontrando en los indicadores un objeto de estudio en el que los componentes conceptuales y empíricos se condicionan mutuamente. Me gusta, sobre todo, pensar a los indicadores como un ancla de las políticas con la realidad, siendo así herramientas para la toma de decisiones y la gestión.

Fue en REDES donde llevé adelante la beca del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET), que facilitó enormemente mi formación de posgrado. Esos primeros pasos, en compañía de excelentes maestros y buenos amigos, marcaron el rumbo futuro de mi trayectoria profesional. Estoy muy agradecido a los compañeros del Centro y me siento orgulloso de ser parte de ese grupo. En particular, le debo mucho a Claudio Alfaraz, amigo y compañero desde la universidad, que me presentó en esa institución.

Además, fue la oportunidad de formar parte del equipo de la Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT) la que me abrió las puertas a una formación profunda y especializada en el tema de indicadores de ciencia y tecnología, pero también a una experiencia práctica de singular valor. El contacto con esa red de expertos en toda la región enriqueció de manera singular mis perspectivas y capacidades. Algunos de los miembros fundadores de la red, como Anna María Prat y Hernán Jaramillo, fueron referentes muy importantes en mi formación.

También, el paso por el Centro Argentino de Información Científica y Tecnológica (CAICYT-CONICET) me permitió ganar una especialización muy importante en los indicadores de publicaciones y patentes. La experiencia ganada allí terminó de definir el camino de especialización profesional que hoy se ve reflejado en esta tesis.

Todas las actividades que fui desarrollando en cada uno de esos lugares, a veces sin tener plena conciencia en el momento, aportaron mucho al resultado de este trabajo. La interacción con los grupos de trabajo en cada uno de esos lugares fue vital para el desarrollo de esta tesis y estoy muy agradecido a esas instituciones.

Para terminar, hay algunas personas a quienes deseo agradecer en particular. Sus aportes se hacen evidentes a lo largo de este trabajo, y han sido un gran apoyo dentro y fuera del ámbito académico y profesional.

Principalmente a Mario Albornoz, mi director. De sus muchas habilidades quiero destacar una en esta oportunidad: la capacidad de tomar a un joven recién egresado, que no tiene muy claro aún el rumbo de su vida, y llevarlo a convertirse en un profesional con experiencia y, con esta tesis, en doctor. Su papel en ese proceso fue mucho más allá de las responsabilidades de un director. Con muchas palmadas, y algunos coscorriones que también merecí, me acompañó en esta trayectoria y, fundamentalmente, me enseñó a trabajar. Por el cariño y la generosidad que me demostró con su seguimiento, gran paciencia y consejos, sin los que no hubiera llegado hasta aquí y que van mucho más allá de este trabajo, le estaré siempre agradecido.

Esta tesis contiene también mucho trabajo de otra persona a la que quiero agradecer: Lautaro Matas, amigo y compañero de aventuras desde hace casi diez años y responsable del desarrollo de las herramientas informáticas aplicadas en este trabajo. Es mucho lo que aprendí de él y me gusta pensar que esa suerte de simbiosis que nos ha unido se prolongará mucho más. Él considera una buena señal que este documento tenga 271 páginas.

También quiero dar las gracias a María Guillermina D'Onofrio, que con su rigurosidad, empeño y dedicación, me acompañó a pensar la aplicación práctica de muchos de los indicadores que se plantean en este trabajo. Su papel en el análisis de los resultados que se iban obteniendo fue para mí invaluable.

Quiero extender mi gratitud a la Universidad Nacional de Quilmes. Allí realicé todas las etapas de mi educación superior, en un ambiente muy fecundo, bajo la guía de excelentes docentes y en compañía de amigos que conservo hasta hoy.

Comparto la alegría de completar esta etapa con Silvia, que con amor y confianza tantas veces me preguntó cuándo terminaría la tesis, creyendo siempre que llegaría a buen puerto. También con mi mamá, mi hermano y mis amigos, que están tan contentos como yo.

Septiembre de 2010

Índice general

Introducción	1
1. Dinámicas de la producción de información en ciencia, tecnología e innovación	4
1.1. Ciencia, tecnología e innovación como herramientas del desarrollo social y económico	4
1.2. La importancia de la información para la toma de decisiones. Administrar, orientar y evaluar	8
1.3. Datos, información y conocimiento	11
1.4. Productores, usuarios y niveles en la producción y uso de información	12
1.5. El sistema de producción y flujo de información científica y tecnológica	15
1.6. Dificultades en la interacción entre productores, usuarios y fuentes	18
1.7. El paradigma teórico	21
1.8. El paradigma tecnológico	24
2. Indicadores, política científica y evaluación	27
2.1. Los indicadores como espejo del sistema de ciencia, tecnología e innovación	27
2.2. Indicadores y política científica a lo largo del tiempo	28
2.2.1. Los indicadores de I+D y el modelo lineal	32
2.2.2. Indicadores de stock de recursos humanos. Cuantificación del potencial de la base científica	35
2.2.3. Los indicadores bibliométricos. Siguiendo las huellas de la investigación científica y tecnológica	37
2.2.4. Indicadores de patentes como aproximación al desarrollo tecnológico	46
2.2.5. Indicadores de innovación. El foco en la demanda de conocimiento	50

2.2.6.	Balanza de pagos tecnológicos. El comercio internacional del conocimiento	57
2.2.7.	Otros desarrollos actuales en indicadores de ciencia y tecnología	59
2.3.	Particularidades de la construcción de indicadores en América Latina	62
2.4.	Los indicadores como herramientas para la evaluación de las actividades de ciencia, tecnología e innovación	65
2.4.1.	La revisión de pares	66
2.4.2.	Tipos, niveles y usos de los mecanismos de evaluación	67
2.4.3.	Indicadores para la evaluación	68
3.	Fuentes de datos y herramientas para la producción de información científica, tecnológica y de innovación	70
3.1.	Las determinaciones de las fuentes de datos en la consolidación de cada familia de indicadores	70
3.1.1.	Indicadores de insumo de la I+D e indicadores de innovación	71
3.1.2.	Indicadores de stock de recursos humanos	74
3.1.3.	Indicadores de productos de las actividades científicas y tecnológicas	75
3.2.	Modelo tipo de un sistema de información nacional en ciencia y tecnología	77
3.3.	La sociedad de la información y la generación de nuevas fuentes de datos	82
3.4.	Nuevas posibilidades para la producción de información y el desarrollo de nuevas herramientas	84
3.4.1.	Análisis de redes sociales	85
3.4.2.	Minería de datos	87
3.4.3.	Las herramientas de visualización, recurso necesario ante grandes dominios de información	90
4.	Cambios en las dinámicas de investigación y su reflejo en las demandas de información	92
4.1.	La colaboración científica como política pública	95
4.2.	El análisis de redes sociales como base teórica para indicadores relacionales	99
4.3.	Medidas básicas de análisis de redes y su utilidad para la construcción de indicadores	101

5. Abriendo la caja negra de la investigación científica y el desarrollo tecnológico. El caso de la nanotecnología iberoamericana	104
5.1. Características de la nanotecnología	105
5.2. Huellas de la I+D iberoamericana en nanotecnología	108
5.3. La investigación en nanotecnología	110
5.3.1. La evolución de la producción científica	111
5.3.2. La colaboración internacional	115
5.3.3. Iberoamérica en las redes mundiales de colaboración	123
5.3.4. La red de colaboración iberoamericana	127
5.3.5. El entramado institucional de la nanotecnología	133
5.3.6. La composición disciplinar de la nanotecnología	138
5.4. Desarrollo tecnológico en nanotecnología	146
5.4.1. La evolución del patentamiento en nanotecnología	146
5.4.2. Principales titulares de patentes nanotecnológicas	153
5.4.3. Los campos de aplicación de la nanotecnología	157
5.5. Algunas interpretaciones a partir del uso integrado de indicadores atributivos y relacionales en el campo de la nanotecnología	168
6. El entramado de relaciones de la I+D en biotecnología	171
6.1. Delimitación de un área transversal	173
6.2. La investigación científica en biotecnología	176
6.2.1. Evolución de la producción científica	176
6.2.2. Colaboración internacional	182
6.2.3. Iberoamérica en las redes de colaboración internacional . .	191
6.2.4. Las redes de colaboración iberoamericanas	197
6.2.5. Entramado institucional de la biotecnología iberoamericana	202
6.2.6. La composición disciplinar de la biotecnología	206
6.3. Desarrollo tecnológico en biotecnología	215
6.3.1. Evolución del patentamiento en biotecnología	216
6.3.2. Principales titulares de patentes en biotecnología	224
6.3.3. Los campos de aplicación de la biotecnología	227
6.4. Evidencias surgidas del análisis de indicadores con participación de expertos	238
Conclusiones	241
Bibliografía	245
Anexos	251

Índice de figuras

1.1. Niveles en la producción de información	14
1.2. Esquema del sistema de producción y flujo de información científica y tecnológica	16
2.1. Modelo de enlaces en cadena de la innovación	54
3.1. Sistema de información esquemático	78
4.1. Promedio de la cantidad de autores por artículos con participación argentina SCI 1990-2008	93
5.1. Total de publicaciones en nanotecnología (2000-2007)	111
5.2. Total de publicaciones iberoamericanas en nanotecnología (2000-2007)	112
5.3. Total mundial e iberoamericano de publicaciones en nanotecnología (Base 2000=100)	112
5.4. Publicaciones de los principales países del mundo en nanotecnología	113
5.5. Publicaciones de los principales países iberoamericanos en nanotecnología	113
5.6. Publicaciones de los países iberoamericanos en nanotecnología . .	114
5.7. Porcentaje de publicaciones en nanotecnología en relación al total	115
5.8. Publicaciones iberoamericanas según colaboración internacional .	116
5.9. Publicaciones según colaboración internacional	117
5.10. Porcentaje de publicaciones en colaboración iberoamericana . . .	117
5.11. Publicaciones españolas según colaboración internacional	118
5.12. Publicaciones brasileñas según colaboración internacional	118
5.13. Publicaciones mexicanas según colaboración internacional	119
5.14. Publicaciones portuguesas según colaboración internacional . . .	119
5.15. Publicaciones argentinas según colaboración internacional	120

5.16. Publicaciones iberoamericanas en colaboración según país	120
5.17. Publicaciones españolas en colaboración según país	121
5.18. Publicaciones brasileñas en colaboración según país	121
5.19. Publicaciones mexicanas en colaboración según país	122
5.20. Publicaciones portuguesas en colaboración según país	122
5.21. Publicaciones argentinas en colaboración según país	123
5.22. Nodos y densidad de las relaciones entre países	124
5.23. Red de países con producción científica en nanotecnología (2000)	125
5.24. Red de países con producción científica en nanotecnología (2005)	126
5.25. Red de países con producción científica en nanotecnología (2007)	127
5.26. Red de países iberoamericanos (2000)	128
5.27. Red de países iberoamericanos (2007)	129
5.28. Grado normalizado y participación en la producción iberoamericana	130
5.29. Intermediación y participación en la producción iberoamericana	131
5.30. Evolución de las publicaciones de instituciones iberoamericanas en SCI	133
5.31. Red de instituciones iberoamericanas (2007)	134
5.32. Cantidad de publicaciones y grado normalizado (2007)	136
5.33. Red de disciplinas en nanotecnología a nivel mundial (2007)	139
5.34. Red de disciplinas en nanotecnología a nivel iberoamericano (2007)	141
5.35. Red de disciplinas en la nanotecnología española (2007)	142
5.36. Red de disciplinas en la nanotecnología brasileña (2007)	143
5.37. Red de disciplinas en la nanotecnología mexicana (2007)	144
5.38. Red de disciplinas en la nanotecnología portuguesa (2007)	145
5.39. Red de disciplinas en la nanotecnología argentina (2007)	146
5.40. Total de patentes en nanotecnología	147
5.41. Total de patentes iberoamericanas en nanotecnología	148
5.42. Total de patentes mundiales e iberoamericanas en nanotecnología. Base 2000=100	148
5.43. Patentes de los principales países del mundo según su titular	149
5.44. Patentes de los principales países iberoamericanos su titular	150
5.45. Patentes de los países iberoamericanos según su titular (acumu- lado 2000-2007)	150
5.46. Patentes en nanotecnología según país del inventor (acumulado 2000-2007)	151

5.47. Patentes en nanotecnología según país iberoamericano del inventor (acumulado 2000-2007)	152
5.48. Relación entre titularidad y participación de inventores	152
5.49. Titulares de patentes en nanotecnología	154
5.50. Titulares iberoamericanos de patentes en nanotecnología	154
5.51. Participación del sector privado en la titularidad	155
5.52. Principales códigos IPC (3 dígitos) en total de patentes en nanotecnología	157
5.53. Principales códigos IPC (3 dígitos) en patentes iberoamericanas .	158
5.54. Especialización tecnológica - IPC (3 dígitos)	159
5.55. Principales códigos IPC (4 dígitos) en total de patentes en nanotecnología	160
5.56. Principales códigos IPC (4 dígitos) en patentes iberoamericanas .	160
5.57. Principales códigos IPC (4 dígitos) de las patentes del código IPC A61	161
5.58. Principales códigos IPC (4 dígitos) del código IPC C07 (Organic chemistry)	161
5.59. Principales códigos IPC (4 dígitos) de las patentes del código IPC C12	162
5.60. Principales códigos IPC (4 dígitos) de las patentes del código IPC G01	162
5.61. Principales códigos IPC (4 dígitos) de las patentes del código IPC B01	163
5.62. Especialización tecnológica a partir de códigos IPC (4 dígitos) . .	163
5.63. Mapa de códigos IPC (4 dígitos) en total de patentes en nanotecnología	165
5.64. Mapa de códigos IPC (4 dígitos) en patentes iberoamericanas . .	167
6.1. Total de publicaciones en biotecnología (2000-2008)	177
6.2. Total de publicaciones iberoamericanas en biotecnología (2000-2008)	177
6.3. Total de publicaciones mundiales e iberoamericanas en biotecnología (Base 2000=100)	178
6.4. Publicaciones de los principales países del mundo en biotecnología	179
6.5. Producción de principales países iberoamericanos en biotecnología	179
6.6. Publicaciones de los países iberoamericanos en biotecnología . . .	180
6.7. Porcentaje de publicaciones en biotecnología en relación al total .	181
6.8. Colaboración internacional iberoamericana en biotecnología . . .	183

6.9. Patrones de colaboración en biotecnología según país	183
6.10. Porcentaje de colaboración iberoamericana en biotecnología . . .	184
6.11. Publicaciones españolas en biotecnología según colaboración . . .	185
6.12. Publicaciones brasileñas en biotecnología según colaboración . . .	186
6.13. Publicaciones mexicanas en biotecnología según colaboración . . .	186
6.14. Publicaciones portuguesas en biotecnología según colaboración . .	187
6.15. Publicaciones argentinas en biotecnología según colaboración . . .	187
6.16. Colaboración en publicaciones iberoamericanas en biotecnología (2008)	188
6.17. Colaboración en publicaciones españolas en biotecnología (2008)	189
6.18. Colaboración en publicaciones brasileñas en biotecnología (2008)	189
6.19. Colaboración en publicaciones mexicanas en biotecnología (2008)	190
6.20. Colaboración en publicaciones portuguesas en biotecnología (2008)	190
6.21. Colaboración en publicaciones argentinas en biotecnología (2008)	191
6.22. Cantidad de nodos y densidad de redes en biotecnología	192
6.23. Red de países con producción científica en biotecnología (2000) . .	193
6.24. Red de países con producción científica en biotecnología (2008) . .	194
6.25. Red de países en biotecnología (2000, clustering)	195
6.26. Red de países en biotecnología (2008, clustering)	196
6.27. Red de países iberoamericanos en biotecnología (2000)	198
6.28. Red de países iberoamericanos en biotecnología (2008)	199
6.29. Grado normalizado y participación en la producción iberoameri- cana en biotecnología	199
6.30. Intermediación y participación en la producción en biotecnología	201
6.31. Publicaciones biotecnológicas por institución	203
6.32. Red de instituciones a partir de la copublicación	204
6.33. Cantidad de publicaciones y grado normalizado (2008)	206
6.34. Red de disciplinas de co-citaciones en artículos a nivel mundial . .	208
6.35. Red de disciplinas de co-citaciones a nivel iberoamericano	210
6.36. Red de disciplinas de co-citaciones de los artículos españoles . . .	211
6.37. Red de disciplinas de co-citaciones de artículos brasileños	212
6.38. Red de disciplinas de co-citaciones de los artículos mexicanos . . .	213
6.39. Red de disciplinas de co-citaciones de los artículos portugueses . .	214
6.40. Red de disciplinas de co-citaciones de los artículos argentinos . . .	214

6.41. Total de patentes otorgadas en biotecnología	217
6.42. Patentes de titulares iberoamericanos en biotecnología en WIPO	218
6.43. Patentes biotecnológicas y total de titulares iberoamericanos (WI- PO)	219
6.44. Patentes en biotecnología publicadas en WIPO según país del titular	219
6.45. Patentes en biotecnología publicadas en WIPO según país del titular	220
6.46. Patentes en biotecnología publicadas en WIPO según país del titular	221
6.47. Patentes en biotecnología en WIPO según país del inventor . . .	222
6.48. Patentes en biotecnología en WIPO según país del inventor . . .	222
6.49. Relación entre titularidad y participación de inventores	223
6.50. Principales titulares de patentes en biotecnología	224
6.51. Principales titulares iberoamericanos de patentes en biotecnología	225
6.52. Participación del sector privado en patentes de biotecnología . .	226
6.53. Principales códigos IPC en total de patentes en biotecnología . .	228
6.54. Principales códigos IPC en Iberoamérica en biotecnología	229
6.55. Especialización tecnológica a partir de códigos IPC en biotecnología	230
6.56. Principales códigos IPC en total de patentes en biotecnología . .	231
6.57. Principales códigos IPC en patentes iberoamericanas	231
6.58. Principales códigos IPC dentro de C12 en patentes iberoamerica- nas	232
6.59. Principales códigos IPC dentro de A61 en patentes iberoameri- canas	232
6.60. Principales códigos IPC dentro de C07 en patentes iberoamerica- nas	233
6.61. Principales códigos IPC dentro de G01 en patentes iberoamericanas	233
6.62. Especialización tecnológica en biotecnología	234
6.63. Mapa de códigos IPC en el total de patentes en biotecnología . .	236
6.64. Mapa de códigos IPC en el total de patentes iberoamericanas en biotecnología	237

Índice de cuadros

5.1. Grado normalizado y participación en la producción iberoamericana	131
5.2. Intermediación normalizada y participación en la producción iberoamericana	132
5.3. Publicaciones y grado normalizado de las veinte principales instituciones (2007)	137
6.1. Grado normalizado y participación en la producción biotecnológica	200
6.2. Grado normalizado y participación en la producción biotecnológica	202
6.3. Publicaciones y grado normalizado de la red institucional	207

Introducción

Si bien la ciencia se ha ido integrado crecientemente con la política desde Siglo XVII, es desde el fin de la segunda guerra mundial cuando la ciencia se ha convertido en un elemento central de las políticas públicas. El tema ha ganado así presencia permanente en las agendas gubernamentales en países de todo el mundo.

Es principalmente desde el Proyecto Manhattan, que culminó con la producción de las primeras bombas atómicas, y con el impulso que supuso la carrera tecnológica de la Guerra Fría, que las características de la ciencia y la tecnologías se han visto revolucionadas. Estos cambios no han sido sólo de carácter cuantitativo, con el acelerado crecimiento de la inversión y los recursos humanos involucrados, sino también cualitativo, por ejemplo con las diferentes formas de institucionalización de la ciencia. Esto ha ido conformando lo que muchos autores llaman “Big Science”.

Estos cambios en las dinámicas y actores involucrados en la producción de conocimiento ha tenido también un correlato en la aplicación de ese conocimiento a la producción. Las temáticas de la tecnología y posteriormente la innovación enriquecieron los enfoques conceptuales y los instrumentos de política en esta materia. Hoy en día resulta común la afirmación de que el avance científico y tecnológico, relacionado con la innovación productiva, lleva a una economía que, basada en el conocimiento, adquiere especialización en actividades de mayor valor agregado. Es así como los países de mayor desarrollo económico son también los que presentan un mayor esfuerzo dedicado a la I+D: Japón invierte más del 3% de su PBI, Estados Unidos el 2.7% y el promedio europeo asciende al 1.8%. Por otra parte, desde la perspectiva de las políticas públicas, la ciencia, la tecnología y la innovación constituyen un desafío a la eficacia de la gestión pública de los gobiernos.

En ese contexto, la gestión de las políticas públicas en ciencia, tecnología e innovación han ido requiriendo herramientas que faciliten el monitoreo de estas actividades. La necesidad de evaluar, gestionar y planificar en el mediano y largo plazo genera una demanda de información que se tradujo en los estudios cuantitativos de la ciencia, la tecnología y la innovación, plasmados en un conjunto variado y evolutivo de indicadores y metodologías que van reflejando, en cierta medida, distintas formas de ver las complejas relaciones entre la ciencia, la tecnología y la sociedad.

Hoy en día, la información científica en general, y los indicadores en particular, se han convertido en un elemento muy difundido a distintos niveles. A un nivel más

general, como herramientas para la toma de decisiones y el diseño de políticas, con la normalización internacional como un componente central, la información cuantitativa ofrece una imagen de la estructura y funcionamiento de los sistemas de ciencia y tecnología. En otro nivel, el de las instituciones de investigación, especialmente los indicadores bibliométricos, se han convertido en un elemento cada vez más instalado en sus sistemas de evaluación y recompensas.

En esta tesis se presenta una modelización de los procesos de producción de información en ciencia, tecnología e innovación, considerando tanto los aspectos técnicos y prácticos como las lógicas y ideas que les dan origen. Se analiza para ello la distinción entre datos e información, para luego profundizar en las particularidades de los indicadores como expresiones cuantitativas que integran en sí mismos una selección cualitativa de datos determinados, que combinados de acuerdo con criterios específicos, dan como resultado herramientas de análisis útiles en un marco conceptual específico.

Los indicadores son además el resultado de las decisiones tomadas por un conjunto heterogéneo de agentes, que conforman una compleja red de productores y usuarios. Por ello, en el desarrollo de esta tesis se ofrece una descripción estilizada del sistema de producción y flujo de información en ciencia, tecnología e innovación, con el rol ejercido por cada uno de los actores participantes.

Posteriormente, tomando en cuenta esa caracterización, se realiza un análisis detallado de las distintas familias de indicadores actualmente existentes y de cómo sus características son el resultado de enfoques teóricos determinados sobre la relación de la ciencia y la tecnología con la sociedad. Este análisis demuestra el carácter evolutivo de la producción de indicadores, siguiendo las demandas de la política científica a lo largo de las décadas.

Para ello, se detallan las características de las diferentes “familias” de indicadores que han ido surgiendo, desde los estudios de Derek De Solla Price, con una mirada de carácter más sociológico, y de Christopher Freeman, desde una perspectiva más económica, hasta los últimos enfoques que se discuten actualmente en los distintos foros internacionales, buscando dar respuesta a demandas de información para la política y gestión de estas actividades.

Posteriormente, se profundiza en las posibilidades ofrecidas por las nuevas tecnologías informáticas. Esta revolución incluye por un lado la generación de grandes bases de datos, que permiten contar con un volumen de datos tal que la información que es posible generar se ve radicalmente modificada. Por otra parte, la aparición y difusión de herramientas informáticas avanzadas abre las puertas a nuevos enfoques en la producción de indicadores.

En ese contexto, esta tesis explora las posibilidades ofrecidas por la combinación de grandes bases de datos de publicaciones y patentes con el análisis de redes, basado en la aplicación de teoría de grafos, y realiza dos ejercicios de aplicación en dos campos tecnológicos de alto contenido científico, como la nanotecnología y la biotecnología.

El resultado es la propuesta de un conjunto original de indicadores que permiten cuantificar y representar gráficamente distintos tipos de relaciones que se dan en el seno de las comunidades de ciencia y tecnología. En particular, estas medidas explotan los vínculos de colaboración entre investigadores, instituciones y países, así como las relaciones entre disciplinas y campos de aplicación en los procesos

de producción de conocimiento, para generar mediciones cuantitativas de estos procesos, permitiendo su comparación y monitoreo a lo largo del tiempo.

En tal sentido, la tesis culmina con la aplicación combinada de indicadores tradicionales de ciencia y tecnología con indicadores relacionales basados en análisis de redes en la nanotecnología y la biotecnología. Estos análisis empíricos permiten poner a prueba la utilidad del conjunto de indicadores propuesto, mostrando cómo poseen un carácter complementario con los análisis tradicionales y ofrecen un panorama de gran riqueza analítica que puede potenciarse con la interpretación de expertos en los temas bajo estudio.

Capítulo 1

Dinámicas de la producción de información en ciencia, tecnología e innovación

1.1. Ciencia, tecnología e innovación como herramientas del desarrollo social y económico

Desde hace ya algunos años, es común que se presente a los procesos de desarrollo económico y social cada vez más ligados al avance científico y tecnológico. Se trata de una sociedad en la que el conocimiento y la información se han convertido en un bien estratégico, tanto para los Estados (que deben gestionar los sistemas nacionales de I+D) como para las empresas (para las cuales la innovación tecnológica es ya un requisito para la competitividad) y la sociedad civil en general (beneficiaria de los avances y, muchas veces, participe en los riesgos que aparea el avance científico).

Por estas razones, la ciencia, la tecnología y la innovación se han convertido en un tema importante en las políticas públicas, y de presencia permanente en las agendas gubernamentales en todo el mundo. El avance científico y tecnológico lleva a una economía que, basada en el conocimiento, adquiere especialización en actividades productivas de mayor valor agregado.

Desde los comienzos de la década del setenta, el conocimiento se ha ido convirtiendo en el principio axial de las sociedades contemporáneas, como una fuerza transformadora de las estructuras económicas y sociales. En ese sentido, la magnitud del poderío de los países empieza a tener que ver más con la calidad de su ciencia y de su aplicación a nuevas tecnologías, que su producción de acero (Bell, 1994). La carrera espacial y armamentista de la guerra fría puede ser vista como una evidencia en este sentido.

Con frecuencia, el fin de la Segunda Guerra Mundial es visto como un hito clave en ese sentido. Específicamente, el Proyecto Manhattan resulta un punto de inflexión en la relación entre la ciencia y la tecnología, la política y la sociedad

en general por diferentes motivos. Por primera vez en la historia, un gobierno moviliza un volumen de recursos económicos y humanos de esa magnitud en pos de un objetivo científico. Al mismo tiempo, el éxito del proyecto -la bomba atómica- reconfiguraría el plano político global y daría un giro revolucionario a la relación de la ciencia y la tecnología con la sociedad.

El poder adquirido por la ciencia a partir de ese momento le dio al tema un papel central en las agendas gubernamentales en muchos países del mundo. Apenas finalizada la guerra, y a pedido del presidente de los Estados Unidos, Vannevar Bush, quien había dirigido a la comunidad científica participante del Proyecto Manhattan, redacta el informe “Ciencia, la frontera sin fin”, en el que busca dar respuesta a la pregunta sobre la manera en que la ciencia puede aportar al desarrollo del país. En el texto, Bush afirma que “ más y mejor ciencia significará el progreso de toda la sociedad(...). Sin progreso científico no hay logro en otras direcciones, cualquiera sea su magnitud, que pueda garantizar nuestra salud, prosperidad y seguridad como nación en el mundo moderno” (Bush, 1999).

Esta irrupción de la ciencia como un problema en la política de estado implicó una obvia disputa con respecto a quién toma las decisiones en este campo. En ese sentido, la sociedad post-industrial se organiza en torno al conocimiento para lograr el control social y la dirección de la innovación y el cambio, y esto a su vez da lugar a nuevas relaciones sociales y nuevas estructuras que tienen que ser dirigidas políticamente (Bell, 1994).

Durante los primeros años de la posguerra los representantes de la comunidad científica ganaron mucho espacio en el terreno político, pujando por el control del conocimiento que habían generado y que se encarnaba, por ejemplo, en los crecientes arsenales atómicos de la época. Michael Polanyi afirmaba en la época que la ciencia no podía ser organizada de otra manera que garantizando la completa independencia de todos los investigadores maduros, sosteniendo que ellos mismos se distribuirían en los diferentes campos de la investigación, aplicando sus habilidades personales a las tareas que les resultaran más redituables. En ese contexto, la función de las autoridades públicas no sería la de planificar la investigación, sino sólo proveer oportunidades para la investigación, de manera que cada buen investigador pueda seguir sus intereses científicos (Polanyi, 1951).

Sin embargo, el avance de la guerra fría fue empujando cada vez más el control hacia manos militares, quedando finalmente claro que el conocimiento técnico no implicaba una capacidad política en el manejo por el control nuclear. De esta manera, ha aparecido la figura del “asesor científico”, como un agente cada vez más presente en discusiones políticas en una sociedad donde los problemas técnicos afectan de manera directa a la sociedad y a la distribución del poder (Bell, 1994).

Si bien posteriormente la idea de que el avance de los conocimientos científicos sólo podía traer beneficios a la sociedad fue severamente cuestionada, el interés de los gobiernos por este tema, principalmente en los países desarrollados, no ha parado de aumentar. Ejemplo de ello es la posición de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), agrupación que reúne a los gobiernos de los principales países desarrollados. En “La ciencia y las políticas de innovación: Retos clave y oportunidades” queda en claro la atención que los gobiernos ponen hoy en la política científica. La ciencia y la tecnología son vistas

como factores de gran influencia en la economía y la sociedad, en la medida en que su avance afecta la forma de vida y el trabajo de las personas. Las mejoras en los estándares de salud y el incremento en la productividad generado por las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) son puestas como ejemplos del impacto de la ciencia y la tecnología en la sociedad y la economía (OCDE, 2004).

En la actualidad, la injerencia de los propios científicos en la toma de decisiones políticas en este campo resulta mucho más limitada, a la vez que el beneficio social ha ido reemplazando a la supremacía militar como principal objetivo de los Estados a la hora de apoyar la investigación. La promesa de beneficio social aparece hoy en día como la principal y más sólida justificación para el apoyo público a la I+D (Sarewitz, 1996).

Pero, por supuesto, los peligros potenciales asociados al cambio tecnológico para la sociedad, la ecología y la economía no pueden ser pasados por alto. Los mismos avances que pueden salvar vidas y crear trabajos también pueden ser dañinos para las poblaciones y perturbar las economías. Estas preocupaciones fomentan debates en la sociedad sobre asuntos que van desde los alimentos genéticamente modificados y la energía nuclear hasta la identificación biométrica utilizando algunas técnicas tales como el escaneo de la retina (OCDE, 2004).

Paralelamente, y con mayor fuerza a partir de los años '80 cuando el avance japonés se hace evidente, la innovación tecnológica irrumpe como un factor clave para el desarrollo. El papel de las empresas y su relación con el sistema de investigación y desarrollo se convierte en un foco importante de atención en las políticas públicas, mientras que la teoría de la innovación formulada por Joseph Schumpeter a principios del Siglo XX es revisitada en búsqueda de un nuevo marco conceptual (Albornoz, 2001). En términos de Schumpeter, la innovación, vista como una recombinación de factores productivos, es una ruptura intencional del equilibrio productivo en función de nuevas técnicas que permitan dar un salto y colocar a la empresa en una posición más competitiva (Schumpeter, 1912). El papel del desarrollo científico y tecnológico en este proceso aparece como un factor clave en ese momento, dándole aún más sentido a las ideas originales del autor.

El proceso de innovación es, sintéticamente, la aplicación de una serie de actividades, no todas ellas de carácter científico o tecnológico, que transforman la manera en que las empresas producen y comercializan sus productos. Sin embargo, análisis del fenómeno a un nivel mayor sostienen que la innovación tecnológica es portadora de transformaciones a gran escala y que sería, por ejemplo, uno de los motores de la globalización (Albornoz, 2010).

Es así como, llevando consigo beneficios y perjuicios implícitos, la innovación tecnológica es vista como uno de los principales fenómenos que movilizan la economía. Estudios de la OCDE muestran que la ciencia, la tecnología y la innovación juegan un rol cada vez más significativo en el desempeño económico de los países. Sobre todo en las áreas de alta tecnología, aquellas que son también generadoras de mayor valor agregado, el desarrollo científico se ha convertido en el motor directo de los procesos de innovación. Es el caso de campos como la biotecnología, las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), y la ingeniería de materiales, donde la innovación implica fuertes lazos con

la ciencia, requiriendo más conocimiento (externo a las empresas y de carácter interdisciplinario) a medida que las tecnologías se vuelven extremadamente complejas (OCDE, 2000).

En este contexto, la política de ciencia, tecnología e innovación es hoy un tema importante en las agendas de políticas públicas de los gobiernos a nivel mundial. La gestión de los complejos sistemas que integran los diferentes agentes involucrados en las actividades de ciencia, tecnología e innovación en un país, que incluyen tanto instituciones públicas como privadas, de cara a mejorar el medio ambiente para el desarrollo de ese tipo de actividades, pasa a tener una importancia vital. En cada país, la capacidad de responder al cambio tecnológico depende en gran medida de la disponibilidad, no solo de capital, sino también del conocimiento y los recursos humanos adecuados.

En paralelo y a lo largo del tiempo, el crecimiento de la ciencia -tanto en su importancia para la sociedad como en sus dimensiones económicas y en el número de personas implicadas- dio como resultado una cierta cristalización institucional que ha tomado diferentes formas en los diferentes países.

En el marco de un crecimiento fuerte de la inversión en I+D, con una participación importante del Estado (sobre todo en el caso de los países latinoamericanos), la política científica adquiere una importancia central la asignación de recursos. En la medida en que importantes sumas de dinero se gastan en orientar la ciencia y la tecnología hacia ciertos intereses nacionales, se requieren criterios que permitan la toma de decisiones sobre bases racionales (Clark, 1985). Esto genera preguntas como:

- ¿Hasta qué punto debe el gobierno financiar la I+D en el sector industrial?
- ¿Qué mecanismos deben adoptarse para ello?
- ¿Qué sectores industriales deben tener prioridad?
- ¿Qué áreas de la ciencia básica debe financiar el gobierno, en qué proporciones y mediante qué instituciones?
- ¿Cómo deber coordinarse la educación superior y la política científica?
- ¿Cómo deben financiar los organismos del gobierno la investigación interna?

La diversidad y complejidad de estos interrogantes hacen del diseño e implementación de políticas en ciencia, tecnología e innovación una tarea multifacética. Clark (1985), realiza una agrupación conceptual que permite estructurar esta problemática. Los temas que la política científica debe abordar pueden ser agrupados en tres categorías:

- *Asignación de recursos:* Es el caso, por ejemplo, de la distribución entre campos científicos y disciplinas. Se trata, sin embargo, de cuestiones muy relacionadas con la política en un plano más general, dado que el esfuerzo científico y tecnológico realizado en un campo determinado responde a prioridades nacionales como, por ejemplo, defensa o energía nuclear.

- *Contenido científico y tecnológico de las funciones ordinarias del gobierno:* Los gobiernos proveen de bienes y servicios al público, financiados con los impuestos y otros fondos públicos, que para ser eficientes requieren de conocimiento científico y tecnológico. En general, el asesoramiento técnico necesario para esto es realizado en centros de I+D propios de los que disponen muchos organismos y cuyo rol en el sistema científico, objetivos y formas de financiamiento requieren discusión.
- *Administración o gestión de la ciencia:* Se trata de establecer los mecanismos mediante los cuales se toman las decisiones y se monitorea la ejecución de los fondos.

Sin embargo, la política científica difiere en diversos aspectos de otras actividades, por lo que el análisis económico como base para la toma de decisiones implica una simplificación dramática de los fenómenos involucrados. El principal problema relacionado con la asignación de fondos, y que separa a la política científica de la toma de decisiones en otros campos, es que la estimación costo-beneficio no es para nada simple, en la medida de que involucra períodos de tiempo muy extensos (y por lo tanto prolongados flujos de recursos y cambios en el mercado). Por otra parte, dadas las características intrínsecas de la I+D, es necesario enfrentar una gran incertidumbre con respecto a los resultados de la investigación.

Finalmente, no es simple en el terreno científico separar medios y fines de la I+D. Es frecuente que los procesos de investigación arrojen resultados, que ofrecen grandes resultados económicos, pero que no estaban planteados originalmente. Por otra parte, la ciencia básica, etapa necesaria en la producción de conocimiento, no siempre permite identificar potencialidades económicas claras.

1.2. La importancia de la información para la toma de decisiones. Administrar, orientar y evaluar

Frente al escenario descrito anteriormente, caracterizado por la creciente importancia de las actividades científicas y tecnológicas para el desarrollo social y económico pero condicionado por un terreno plagado de incertidumbre con respecto a los resultados a obtener del esfuerzo realizado, la toma de decisión en el campo de las actividades científicas, tecnológicas y de innovación se convierte en un desafío clave. Debido a la complejidad del sistema, la multiplicidad y heterogeneidad de los agentes involucrados y las limitaciones de recursos, los flujos de información resultan centrales para la toma de decisiones, tanto en los ámbitos gubernamentales como empresariales y académicos.

Es así como el problema de disponer de información que refleje, cuantitativa y cualitativamente, los distintos aspectos de las actividades científicas y tecnológicas revisten una gran importancia a la hora de asignar recursos, determinar políticas y evaluar el impacto de su ejecución. Dentro del campo de la información, los indicadores, como representaciones cuantitativas de ciertos procesos

de las actividades científicas y tecnológicas se han convertido en una de las herramientas más utilizadas para la gestión, planificación y evaluación.

Los planificadores y tomadores de decisión, tanto en los países industrializados como en los que están en desarrollo, tienen la común necesidad de información en científica y tecnológica que les permita obtener descripciones detalladas y análisis apropiados de los cambios en este terreno. Cada vez menos las estadísticas de ciencia y tecnología son vistas como una categoría independiente, siendo que miden un componente crucial de las actividades de innovación y muchas veces son vistas como un componente significativo de la información sobre las capacidades para el desarrollo económico (Annerstedt, 1994).

Conocer la situación y las características de los sistemas científicos y tecnológicos permite tomar conciencia de la importancia que reviste dar apoyo a estas actividades. La discusión acerca de los indicadores más apropiados no es un tema menor o exclusivamente técnico o estadístico, sino que se encuentra en el centro de las discusiones sobre la gestión de la ciencia (Albornoz, 2001).

En los países miembros de la OCDE existe consenso en cuanto a que la comprensión y el análisis de esta fuerte relación entre la ciencia, la tecnología y la innovación con el desarrollo y la sociedad, su dinámica y complejidad, exige la producción regular de información sobre el tema que permita, por un lado, el aprendizaje de las nuevas formas de construcción, difusión y transferencia de conocimientos científicos y, por el otro, la caracterización, de manera detallada, del esfuerzo nacional de I+D en el actual contexto mundial de producción de conocimientos y de desarrollo tecnológico, con la finalidad de poder tomar decisiones certeras en el terreno de las políticas (Gusmão, 2002).

En los países con mayor desarrollo científico, que cuentan con una gama de metodologías e instrumentos que apuntan a la normalización de la información que sirve para la comparación y para el diseño de las políticas a mediano y largo plazo, la discusión ya no se centra en si el impulso a la I+D es o no importante para el avance económico y social. Por el contrario, en el caso europeo, la construcción de indicadores de ciencia y tecnología, recopilados con estándares elevados de calidad y metodologías comparativas es una obligación de los países miembros hacia el organismo de estadística regional, EUROSTAT.

Por el contrario, el debate actual gravita sobre la discusión de nuevos indicadores y métodos de monitoreo y evaluación que permitan dar cuenta de las características de la producción de conocimiento y el desarrollo tecnológico en la sociedad actual. Es decir, existe un marcado consenso en los países más desarrollados en cuanto a que se debe conocer con mayor precisión lo que en una sociedad en constante cambio y que, por lo tanto, se requiere una fuerte inversión en el desarrollo de capacidades en la producción de información confiable.

No obstante, en los países en desarrollo, como en el caso latinoamericano, la valoración por la información en el campo científico y tecnológico no ha sido la misma a lo largo del tiempo, lo que repercute en una menor demanda de datos y la consiguiente carencia de la infraestructura adecuada. Una evidencia de esto puede observarse en el tamaño, personal y presupuesto de las oficinas encargadas de información estadística en ciencia, tecnología e innovación de los países de la región, que en casi ningún caso han alcanzado las características que poseen en los países desarrollados y que, en algunos casos, consisten tan sólo en

una persona a tiempo parcial. Esto puede resultar problemático, en la medida en que la carencia de información puede convertirse en un inconveniente grave para insertarse en la dinámica de la globalización y el avance económico basado en la tecnología (Albornoz, 2006).

Aún cuando la producción de información científica en América Latina se inició hace más de tres décadas y las experiencias realizadas, aunque muy discontinuas, incluyen a casi todos los países de la región, la evolución en esta materia parece estar caracterizada por una escasa demanda y utilización gubernamental de los datos, en relación con los países desarrollados (Albornoz y Martínez, 1998).

En los países en desarrollo, la necesidad de contar con información para la política de ciencia, tecnología e innovación ha adquirido un significado estratégico, por lo que se debe fomentar la utilización de la información en todos los niveles de gestión y conducción de instituciones públicas y privadas, académicas o no, relacionadas con la I+D (Velho, 1998).¹ Según la caracterización de Cristopher Freeman et. al. (1982) de los sistemas de producción de información, que será analizado en profundidad más adelante, es necesario contar con un sistema donde los diferentes niveles de producción y utilización de la información (institucional, sectorial, nacional, internacional) se encuentren relacionados e integrados, generando una sinergia capaz de consolidar las capacidades necesarias para disponer de datos regulares y confiables.

La incipiente demanda de información científica y tecnológica que apareció en los gobiernos de América Latina a principios de los años noventa dio el margen necesario para el desarrollo de un espacio de discusión metodológica que ya ha alcanzado un cierto grado de madurez (Albornoz, 2006). Sin embargo, no se han verificado aún en América Latina muchos casos de la utilización sistemática y constante de la información disponible en la planificación de mediano y largo plazo en el terreno de ciencia y tecnología.

En ese sentido, y dado que los procesos de consolidación de capacidades científicas y tecnológicas, en particular aquellas relacionadas con la formación de recursos humanos altamente calificados, requieren plazos relativamente largos de desarrollo, se requiere el diseño y la ejecución de políticas a lo largo de varios años y basadas en información cuantitativa y cualitativa confiable. Hasta el momento son pocos los casos regionales exitosos en ese sentido, ya que la política ha sufrido marcados vaivenes en los diferentes gobiernos, siguiendo más las pautas de los temas centrales en las discusiones internacionales que consideraciones objetivas en base a las demandas y capacidades locales.

¹Para ilustrar esta situación, y en particular las dificultades que aparecen a la hora de la recopilación de información, se pueden citar las palabras de Carlos Henrique De Brito Cruz, que en 2002, siendo presidente de la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), abrió el volumen de indicadores publicado por esa institución diciendo que “los investigadores que contribuyeron para esta obra realizaron un trabajo extremadamente difícil. Puesto que no hay en nuestro país una tradición de levantamiento de indicadores en esta área. No deja de ser contradictorio, pues es una traba para la planificación de las políticas de ciencia y tecnología, lo cual hace que se diseñen de manera poco científica y sujeta a subjetividad y accidentes de interpretación” (FAPESP, 2002).

1.3. Datos, información y conocimiento

La utilidad de la información en la toma de decisiones a diferentes niveles puede resultar evidente. Sin embargo, es necesario hacer una marcada distinción en los insumos necesarios, los procesos requeridos para generarla y los posibles usos de la información.

Es importante también notar que la producción y utilización de la información resulta un proceso dinámico y en el que participan múltiples actores. Esta interacción es la que lleva adelante el proceso en el que los datos son convertidos en información y esta a su vez en conocimiento. Esta idea, sintetizada por Davenport y Prusak (2000), fue aplicada inicialmente a la gestión empresarial. Sin embargo, su generalidad y claridad conceptual la convierte en un insumo de interés para la conformación de un modelo más detallado de los procesos y dinámicas de la producción de información en ciencia, tecnología e innovación.

Según este modelo, los datos pueden ser definidos como un conjunto discreto de elementos, que usualmente pueden ser descritos como registros estructurados de eventos. Por ejemplo, el registro de los proyectos en ejecución en un laboratorio, su fecha de comienzo y finalización, el monto de que dispone y los investigadores involucrados. Sin embargo, esos datos no dicen nada sobre el funcionamiento general del laboratorio o la importancia de los resultados obtenidos. Los datos, por sí solos, no tienen propósito ni relevancia; esas son características propias de la información.

El almacenamiento de datos es central para la gestión de organizaciones y, dependiendo del tamaño de las unidades que analicemos y del tipo de datos, fácilmente podemos encontrar registros de miles de eventos. Algunos sistemas de información actuales en ciencia y tecnología, como por ejemplo las bases de CV son un ejemplo de esto. Sin embargo, según se muestra en varios estudios sobre el tema, tener muchos datos no siempre es mejor que tener pocos. En ciertos casos, contar con grandes volúmenes de datos sólo crea la ilusión de precisión y facilidad para la toma de decisiones (Davenport y Prusak, 2000).

Esto no es cierto en dos sentidos, en primer lugar porque tener muchos datos puede hacer más difícil identificar aquellos que realmente importan. En segundo lugar, y principalmente, porque los datos no tienen ningún sentido intrínseco. Los datos sólo describen una parte de lo sucedido, no aportan interpretaciones ni bases para la acción. Los datos no dicen nada sobre su propia importancia o irrelevancia. La importancia de los datos se vuelve central en la medida de que son la materia prima para la creación de información.

La información, en cambio, puede ser pensada más como un mensaje, por lo general en la forma de un documento o una comunicación sonora o visual. Como todo mensaje, la información tiene un emisor y un receptor. La información tiene como objetivo cambiar la forma en que el receptor percibe algo, impactando sobre su juicio o comportamiento (Davenport y Prusak, 2000). En este modelo, los datos se convierten en información cuando quien la produce le agrega significado. Algunos ejemplos de esta conversión aparecen en el trabajo de Davenport y Prusak y sirven para ilustrar el fenómeno:

- Contextualizar: con qué propósito se generaron los datos (por ejemplo, gestión de proyectos o administración de fondos)

- Categorizar: cuáles son las unidades de análisis de los datos (por ejemplo, si se trata de los investigadores activos en una institución o de la inversión en I+D de una universidad)
- Calcular: qué análisis matemáticos o estadísticos pueden ser aplicados (por ejemplo, si se han realizado estimaciones para completar datos faltantes o interpolaciones para completar series estadísticas)
- Corregir: qué errores se han eliminado de los datos
- Condensar: cómo los datos se pueden resumir de forma más concisa

Las posibilidades ofrecidas por las tecnologías informáticas ayudan para realizar esta transformación, aunque rara vez pueden aportar en la contextualización y requieren la asistencia humana en actividades como la categorización, el cálculo y el condensado.

Finalmente, en este modelo conceptual, el conocimiento sería un concepto más amplio que los datos y la información. El conocimiento es una mezcla de experiencia, valores, información y “know how” que funciona como marco para la integración de experiencias e información y, principalmente, es útil para la toma de decisiones. En las organizaciones con frecuencia no sólo se encuentra dentro de documentos o almacenes de datos, sino que también esta en rutinas organizativas, procesos, prácticas, y normas (Davenport y Prusak, 2000).

En base a esta definición, el concepto de conocimiento no es simple. Es una mezcla de varios elementos; es un flujo al mismo tiempo que tiene una estructura formalizada; es intuitivo y difícil de captar en palabras o de entender plenamente de forma lógica. El conocimiento se deriva de la información, así como la información se deriva de los datos. Para que la información se convierta en conocimiento, las personas deben hacer prácticamente todo el trabajo. Esta transformación se produce, por ejemplo, gracias a la comparación de información, el análisis de consecuencias, las conexiones que puedan establecerse o el intercambio de ideas con otras personas.

La producción y uso de los indicadores en ciencia, tecnología e innovación puede equipararse en buena medida a esta dinámica de transformación de los datos en información y de ésta en conocimiento. Este proceso específico de producción incluye, sin embargo, actores y fuentes específicas que tienen implicancias importantes en su caracterización. Esas características se detallan a continuación.

1.4. Productores, usuarios y niveles en la producción y uso de información

Una propuesta sistemática de Christopher Freeman (1982), uno de los expertos que orientó los primeros pasos de la OCDE en materia de información en ciencia y tecnología, plantea la existencia de cuatro niveles en la construcción de indicadores, que difieren unos de otros por su grado de generalidad y por sus propósitos. Si bien el planteo de Freeman está dedicado explícitamente a la información cuantitativa, el esquema fácilmente puede generalizarse (Figura 1.1).

El primer nivel está vinculado con la gestión de instituciones y remite a la producción de una variedad de indicadores parciales, elaborados generalmente para propósitos locales de monitoreo interno, presupuesto y planificación. En este caso, no es imprescindible que los indicadores estén normalizados, aunque sí es importante que las metodologías garanticen la obtención de información confiable.

Es, por ejemplo, el caso de la construcción de indicadores en universidades, organismo de ciencia y tecnología o empresas, con el objetivo de medir sus capacidades y resultados en este terreno. En este caso suele ser importante también contar con series temporales que permitan verificar los efectos de las políticas institucionales.

El segundo nivel se refiere a estudios puntuales sobre la situación de un área determinada, pero abarcando la totalidad del sistema científico. En este caso suelen no requerirse series históricas, ya que en general se trabaja con cortes temporales, pero sí resulta vital la normalización a efectos de poder realizar estudios comparativos. Estos son estudios sectoriales que pueden abarcar distintos niveles de agregación (región, país, provincia) y que permiten obtener un diagnóstico de áreas que suelen ser críticas para el desarrollo social o económico.

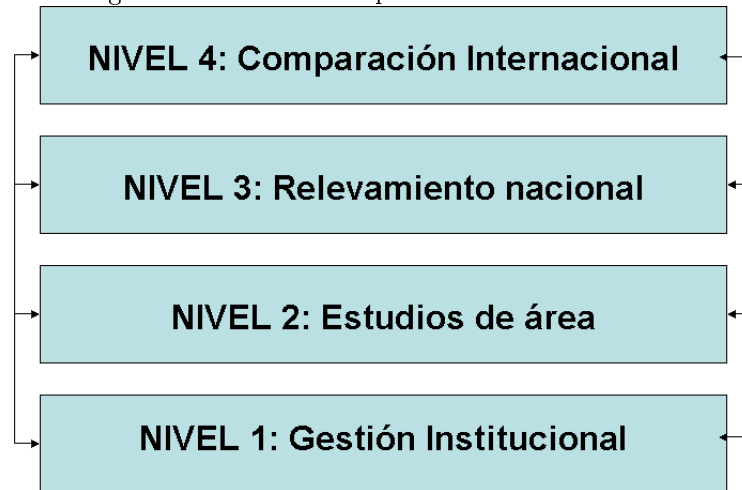
El tercer nivel es el de la incorporación oficial de un cierto conjunto de indicadores en algún relevamiento estadístico regular del gobierno, contando con definiciones y conceptos estandarizados y series históricas nacionales. Este es el caso de los relevamientos de indicadores realizados por las autoridades de cada país de forma periódica (habitualmente anual) a las instituciones que conforman el sistema científico. En él entran en juego los agentes de los sistemas estadísticos oficiales, como por ejemplo los organismos nacionales de ciencia y tecnología, los institutos nacionales de estadística, etc. Este nivel requiere una fuerte normalización y la aplicación de metodologías apropiadas, ya que habitualmente se requiere un procesamiento que incluya la armonización de la información y la estimación de datos faltantes, entre otros procedimientos.

El cuarto nivel corresponde a la comparación entre países, estandarizadas y armonizadas por organizaciones internacionales o regionales que establecen las técnicas y metodologías estadísticas adecuadas. Para ello se realizan relevamientos similares a los de carácter nacional, interrogando a los organismos encargados de la recolección de datos en cada país. Una vez más, es necesario un fuerte procesamiento de los datos para lograr indicadores comparables entre países y totales regionales (Freeman et al, 1982).

En América Latina este trabajo resulta aún más complejo debido al dispar desarrollo de la construcción de indicadores en cada país, por lo que las tareas en este nivel no solo implican la recolección y armonización de la información, sino también la formación y capacitación de los agentes que intervienen.

De ponerse en marcha el funcionamiento ideal de este esquema, se contaría con un sistema interactivo con muchos flujos de información y retroalimentación entre todos los niveles. En este caso, los niveles críticos no son siempre los más altos, sino el nivel uno y dos, donde se produce el primer paso en la recolección de datos y que suelen ser los principales abastecedores de los niveles tres y cuatro. Por ese motivo resultan vitales las capacidades instaladas en las instituciones (universidades, empresas y organismos de ciencia y tecnología) para el relevamiento y procesamiento primario de la información científica y tecnológica.

Figura 1.1: Niveles en la producción de información



Al mismo tiempo, estos distintos niveles de producción de indicadores están cruzados por distintos tipos de usuarios, que muchas veces son también productores de información, y que requieren distintas características en los datos para amoldarlos a sus objetivos. El Programa de Tecnología/Economía (TEP) de la OCDE (OCDE, 1992) identificó tres tipos distintos de usos de la información científica y tecnológica que resultan útiles para el análisis de la producción de información científica.

El primero es el uso en la toma de decisiones, y puede aplicarse a cualquiera de los niveles mencionados por Freeman (1982). Desde el máximo funcionario gubernamental en el área científica y tecnológica, hasta los directores de las instituciones públicas y privadas del sistema científico y tecnológico, utilizan los indicadores para reducir la incertidumbre en la toma de decisiones. En general, los datos se refieren a lo que está sucediendo con los recursos comprometidos y las actividades realizadas, así como a la capacidad de satisfacer los objetivos fijados.

En segundo lugar el uso de la información estadística en la investigación y el análisis de las políticas científicas, tecnológicas y de innovación. En este caso, los investigadores requieren de indicadores para comprobar sus modelos teóricos y verificar el funcionamiento real del sistema de ciencia y tecnología.

Por último, el uso de la información para el público en general, como por ejemplo en artículos en medios masivos de comunicación. La disponibilidad de indicadores precisos y atractivos para su divulgación general contribuye a fomentar el debate público sobre la importancia de la ciencia y la tecnología y a alentar la participación pública en estos temas.

De esta manera, el modelo de datos - información - conocimiento de Davenport y Prusak (2000), junto con los niveles de producción de la información de Freeman (1982) y la tipificación de usos de la información propuesta por el TEP (OCDE, 1992) ofrecen herramientas para pensar un modelo esquemático de la producción y flujo de información en ciencia, tecnología e innovación. Los agentes de ese modelo, junto con sus interacciones y productos, se desarrollan a continuación.

1.5. El sistema de producción y flujo de información científica y tecnológica

La producción de información científica y tecnológica puede ser esquematizada en base a la interacción entre factores distintos: el uso, la producción y las fuentes de datos (Figura 1.2). Se trata de una distinción teórica, útil en términos analíticos, ya que en la práctica existen múltiples superposiciones. Los usuarios son, muchas veces, también productores de información, mientras que las fuentes utilizadas por los productores pueden llegar a ser, incluso, los propios usuarios. Por otra parte, la comunicación entre productores y usuarios no siempre es completamente transparente, de la misma manera que los paradigmas teóricos y tecnológicos funcionan moldeando y limitando las posibilidades generales de la producción de información.

En este modelo esquemático de producción y flujo de información, la función de los usuarios es la de plantear interrogantes en base a sus necesidades de información, de acuerdo a sus objetivos, por lo general como herramienta para la toma de decisiones. En ese mismo sentido, dado que tomará decisiones en base a esa información, el usuario es el encargado del análisis necesario sobre el producto recibido. De esta manera, los productores convierten los datos en información y los usuarios la información en conocimiento.

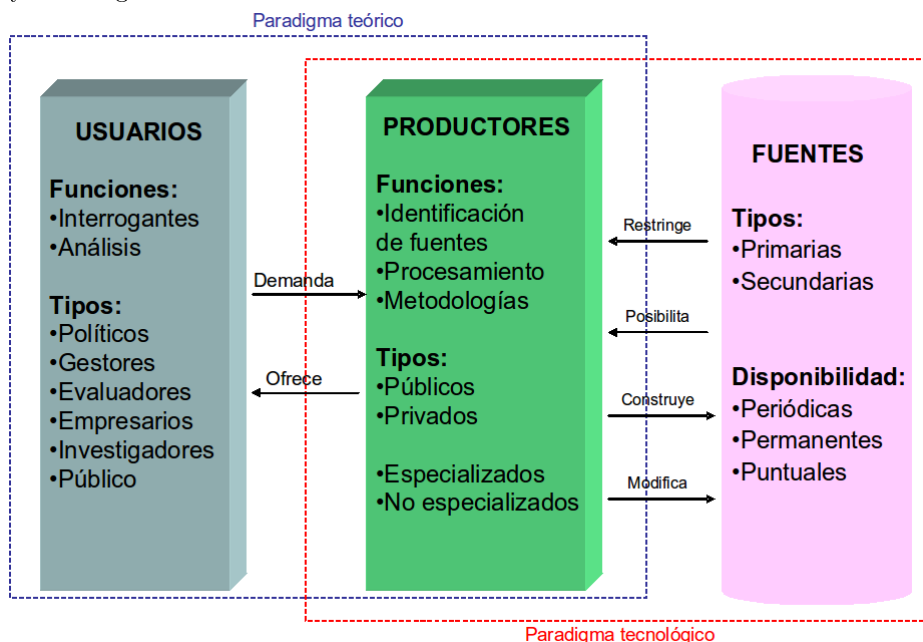
Los usuarios de la información científica y tecnológica son, en realidad, un amplio abanico de actores con características, objetivos y necesidades diferenciadas. Uno de los usuarios típicos de la información científica es el encargado de la toma de decisiones en el campo de la política científica, cuyas necesidades de información están por lo general orientadas a la cobertura de un nivel de baja o media desagregación, orientada por ejemplo a las tendencias generales de la I+D a nivel nacional, regional o sectorial.

Es importante tener en cuenta que demandas distintas son generadas por los gestores o los evaluadores de las actividades científicas y tecnológicas, cuyos objetos de análisis suelen ser más acotados. Por lo general se trata de información a nivel institucional o, incluso, a nivel del desempeño específico de cada investigador. En el sector privado, en cambio, las demandas de información suelen estar mucho más orientadas a la búsqueda de soluciones tecnológicas o de oportunidades de mercado, por lo que son enfocadas más hacia el panorama nacional e internacional de la I+D.

Por otra parte, es posible pensar a los propios investigadores como generadores de demandas de información, aunque las características de estos requerimientos pueden ser ampliamente divergentes. Estos pueden ir, por ejemplo, desde las características y tendencias de un campo de investigación específico, con el objetivo de orientar las líneas de investigación, hasta el estudio sobre las dinámicas sociales de la propia comunidad científica, desde una mirada propia de las ciencias sociales.

Finalmente, la llegada de información científica y tecnológica al público en general implica demandas particulares, por lo general mediadas por los medios de comunicación. Suele tratarse, no sólo de divulgación de resultados de la I+D, sino también las tendencias generales de la investigación y las inversiones y resultados en distintas áreas.

Figura 1.2: Esquema del sistema de producción y flujo de información científica y tecnológica



En este modelo, los usuarios transmiten sus demandas a los productores de información científica y tecnológica. Sin embargo, esas demandas no siempre son precisas o claramente definidas, ni tiene correlación con las posibilidades empíricas dadas por las fuentes disponibles. De esa manera, la primera acción del productor de información es acotar esa demanda a las posibilidades reales de satisfacerla.

Luego, las funciones de los productores de información incluyen la identificación de las fuentes adecuadas para dar respuesta a las demandas recibidas. En algunos casos, los requerimientos implican el desarrollo específico de fuentes primarias, como encuestas o censos, no existentes hasta el momento. Por otra parte, el productor de información debe tener capacidad de procesamiento y contar con metodologías adecuadas para cada caso. Esto es muy importante para garantizar la calidad y confiabilidad de los resultados que se obtengan.

Los productores de información pueden pertenecer al sector público o al sector privado y pueden ser agentes especializados en este tema o que abordan el campo de la producción de información como una actividad tangencial a su tarea principal. Estas distinciones tienen impacto en las posibilidades de cada uno. La primera puede tener impacto en el acceso a las fuentes, sobre todo aquellas generadas por diferentes reparticiones del sector público. La especialización, en cambio, tiene un impacto directo sobre las capacidades y experiencia con que cuenta el agente productor de información.

Finalmente, pueden identificarse en este modelo restricciones que encuentran los productores de información. Estas limitaciones, tanto en los recursos humanos como financieros disponible para desempeñar su actividad, tienen impacto

sobre los resultados que pueden ofrecer. Es importante considerar que existe una relación costo/beneficio en la producción de información, que puede dejar sin sentido la producción de cierta información, dado que la complejidad o el costo económico de su obtención, puede ser muy superior a su utilidad o a las capacidades de los usuarios de financiarlo.

A su vez, de la misma manera que los usuarios demandan información a los productores, estos últimos pueden ofrecer información a los usuarios sin que estos la reclamen, en base a su experiencia sobre la utilidad de la información con que cuentan. Se establece así un doble juego de oferta y demanda entre los productores y usuarios.

Sin embargo, las posibilidades de oferta y demanda que se dan entre productores y usuarios no son infinitas, sino se ven enmarcadas en un paradigma teórico que delimita la orientación de los requerimientos de información científica y tecnológica. Por ejemplo, en las primeras etapas de la política científica y tecnológica, con plena vigencia de una idea lineal de producción de conocimiento y desarrollo tecnológico, la producción de información se centraba en los insumos para la I+D, y no consideraba otros aspectos que fueron centrales en etapas posteriores, como la innovación tecnológica o el impacto de la ciencia y la tecnología.

La tercera distinción del esquema es la de las fuentes de datos. Una vez más, en muchos casos su construcción y administración está a cargo de los productores de información, aunque en términos analíticos es más útil considerarlas como un agente separado.

Las fuentes de datos utilizadas para dar cuenta de las actividades científicas y tecnológicas pueden ser primarias o secundarias. Las primarias son aquellas que han sido creadas para obtener datos específicos sobre esta área. Las fuentes secundarias, en cambio, son registros generados con otros fines, pero que contienen datos de utilidad para la cobertura del sistema de ciencia y tecnología. Por ejemplo, se cuentan entre estas a los registros administrativos o contables de las instituciones que integran el sistema.

Por otra parte, su periodicidad puede ser muy variable, impactando así sobre las posibilidades que ofrece a los productores de información. Existen fuentes de datos periódicas -como las encuestas anuales de I+D o de innovación- fuentes de actualización permanente -como las bases de datos bibliográficas y de patentes- y fuentes que se generan en un momento puntual, sin la previsión de actualizaciones periódicas -como relevamientos específicos a nivel sectorial.

Las características de las fuentes de datos disponibles restringen las posibilidades con que cuentan los productores de información para satisfacer las demandas de los usuarios. Por otra parte, los cambios en las fuentes disponibles, incluso en sus soportes tecnológicos, brindan nuevas posibilidades a los productores para la generación de información.

A la inversa, los productores de información pueden tener gran ingerencia sobre las fuentes de datos. En muchas ocasiones, sobre todo en el caso de fuentes primarias, son ellos mismos quienes las generan y administran, por lo que es posible modificarlas para adaptarse a los cambios en la demanda.

Por último, las posibilidades que ofrecen las fuentes y las capacidades de los productores para procesarlas dependen, cada vez más, de los cambios en el paradigma tecnológico en que se encuentran. Este fenómeno se ha visto claramente

en los últimos años con las posibilidades generadas por las TIC y los avances informáticos, que dieron la posibilidad de contar con una amplia diversidad de bases de datos informatizadas y de herramientas tecnológicas para su procesamiento, impensables en épocas anteriores.

Finalmente, es importante señalar que las relaciones y los productos generados en el marco de este modelo de producción y flujo de información no es estable en el tiempo. En buena medida debido a cambios en los paradigmas teóricos y tecnológicos, las demandas de información cambian constantemente y la producción de información busca acompañar esos requerimientos.

1.6. Dificultades en la interacción entre productores, usuarios y fuentes

Las relaciones e interacciones que se producen entre los diversos agentes del sistema de producción de información en la práctica se ven afectadas por distintos factores que moldean las posibilidades y los resultados finalmente obtenidos. Dado el peso de la ciencia, la tecnología y la innovación en el mundo actual —y lo significativo de los recursos que se le dedican incluso en países en vías de desarrollo— las demandas de fundamentos explícitos y cuantitativos que justifiquen esa inversión son cada vez mayores.

La presión sobre los tomadores de decisión se incrementa en la medida en que, mientras las actividades científicas y tecnológicas muchas veces han tenido beneficiosos efectos socioeconómicos, en otras oportunidades han causado perjuicios e incluso, en ocasiones, ciertos programas de I+D han representado un sensible derroche de recursos humanos y financieros. Sin embargo, y moldeando la relación entre los productores y usuarios de información en el proceso de toma de decisiones a diferentes niveles, no hay que perder de vista que la toma de decisiones en ciencia y tecnología tiene características particulares. Pavitt (1972) sistematiza estas particularidades, agrupándolas en cuatro puntos:

- Rara vez las decisiones públicas de importancia pueden o deben adoptarse sobre la sola base del análisis cuantitativo de costo-beneficio, por la sencilla razón de que casi nunca los costos y los beneficios pueden guardar proporción sino mediante buenas técnicas que fatalmente ocultan juicios de valor de índole política
- Muchas políticas gubernamentales de I+D están llamadas a ser retributivas recién al cabo de varios años. Es el caso típico de la investigación de carácter más básico o de proyectos de gran magnitud que requieren años de maduración. Por este motivo, cualquier análisis formal al respecto es muy sensible a la imagen que se tenga del mundo en el futuro distante
- En general los organismos de ciencia y tecnología hacen su contribución a los objetivos de un gobierno en combinación con otros organismos. Por este motivo, resulta muy difícil determinar la verdadera contribución de la ciencia y la tecnología al alcance de una meta determinada

- Resulta difícil predecir los efectos sociales y económicos de los resultados de la ciencia y la tecnología. No es posible formalizar las interacciones que se entablan entre la ciencia y la tecnología y los procesos sociales, económicos y políticos

Estas particularidades tienen un impacto directo sobre las posibilidades y riesgos de la aplicación de las herramientas de análisis de información de uso más difundido en la toma de decisiones en otros campos. Esos peligros tienen que ver con las características específicas de las actividades de I+D y las dificultades en la comunicación que estas pueden implicar. Por ejemplo, la mutua incompreensión entre el que formula la política y el analista, donde el primero puede no comprender el lenguaje del segundo, mientras que el segundo puede no comprender los rasgos esenciales del proceso político. Por otra parte, la mutua desconfianza entre el analista y la comunidad científica y tecnológica es también un riesgo, ya que el analista puede ignorar las características de las actividades del investigador y la comunidad se incomoda por tener que dar explicaciones, que considera básicas, al analista. Por último, la falta de claridad en algunos análisis sobre suposiciones que pueden ser técnicamente dudosas o basadas en juicios políticos (Pavitt, 1972).

Sin embargo, si pueden superarse esos peligros, la aplicación de métodos analíticos formales ofrece ventajas para la toma de decisiones. Estas ventajas son también claramente resumidas por Pavitt en los siguientes puntos:

- Permiten el examen sistemático de los medios y políticas alternativas y el ponerlos en práctica
- Permiten la presentación de hechos conocidos y las consecuencias predecibles de cualquier política, y mediante ella permiten que los formuladores y analistas de las políticas concentren su atención sobre factores en los cuales los criterios técnicos y políticos son esenciales
- En sectores de gran incertidumbre, como en ciencia y tecnología, posibilitan la creación de un marco de referencia para la revisión y evaluación de los progresos

En ese contexto, los gobiernos continúan requiriendo mejores informaciones analíticas en sus procesos de formulación de políticas científicas. Sin duda los métodos analíticos formales tienen un importante cometido que cumplir, pero nunca hay que menospreciar la importancia del pensamiento empírico y cualitativo sobre las características específicas de los problemas de políticas que se consideran.

Esa necesaria combinación entre la información construida y el conocimiento previo del tomador de decisiones es un eje central de la interacción entre usuarios y productores. Es que la demanda de información, lejos de expresarse de manera operatoria, corresponde en general a una necesidad difusa, poco explícita, que oscila entre interrogantes muy generales y muy puntuales (Barré, 1997). De esta manera, las preguntas que se presentan a los productores de información pueden ir desde una poco definida apreciación del impacto de ciertas actividades científicas y tecnológicas en la economía de un país, hasta la producción de

un informe sectorial específico, insumos para un debate determinado o como contribución a un proceso de evaluación de un aspecto importante de la política de investigación.

En ese sentido, Barré (1997) destaca un aspecto importante en el proceso de producción de información, al que denomina “construcción de la demanda”, es decir, la interacción entre productores y usuarios, y que lleva a una especificación mayor del producto deseado por parte del usuario, considerando las limitaciones de fuentes y recursos que limitan a los productores.

Esta consideración de recursos es un tema central, y en general demandante es, de un modo u otro, el que financia o al menos, quien pone a disposición los medios de trabajo. De esta manera, la información “ideal” muchas veces tiene un costo tan alto que no justifica el esfuerzo. En este punto, la interacción entre los usuarios y productores permite determinar un equilibrio entre la utilidad de la información demandada y los recursos necesarios para generarla.

Otro aspecto interesante destacado por Barré (1997) es que la interacción entre productores y usuarios no se detiene al momento de la entrega del producto solicitado. Por el contrario, es importante la participación de los productores en las etapas de utilización de la información. Esto puede hacerse según modalidades variadas, según la naturaleza del proceso de decisión de que se trate: trabajo de análisis interno, utilización en el marco de grupos de trabajo que incluyen participantes externos, debates abiertos. La utilización de la información, en el proceso de convertirla en conocimiento, requiere a menudo de presentaciones, la participación en grupos de trabajo o la preparación de notas por parte de los productores.

El otro eje de interacción importante es el que se da entre los productores de información y las fuentes de datos con que cuentan. Si bien las fuentes no son agentes activos como los productores, sino “objetos” sobre los que estos actúan, dado que la tarea de los productores de información muchas veces implica la creación de nuevas fuentes o la modificación de las existentes, es posible pensar esta relación como una interacción, en la que las características de las fuentes de datos existentes limitan y moldean las posibilidades reales de la producción de información.

Entre las tareas que los productores de información deben realizar se puede mencionar:

- *La identificación de fuentes pertinentes:* lo que implica un conocimiento profundo de las posibilidades reales, fortalezas y debilidades de cada una
- *La concepción de los tratamientos a realizar y su traducción en estructura de datos:* tarea que pone en juego el conocimiento metodológico y técnico necesario para garantizar la confiabilidad de la información obtenida
- *La negociación del acceso a los datos:* que implica entablar las redes de conexiones institucionales y personales necesarias para tener acceso a las fuentes, tenga esto o no un correlato económico sobre el acceso a los datos

Una vez obtenidos los datos, la producción de información requiere una tarea, muchas veces compleja y minuciosa, de procesamiento relacionada con las

características específicas de los datos sobre los que se trabaja. A menudo es necesario realizar un trabajo importante de selección de datos, de reformato, de unificación e incluso de reconstrucción de los archivos, sobre los contenidos de fuentes que la mayor parte de las veces nos fueron pensadas para la producción de información científica y tecnológica. De esa manera, el choque entre las necesidades y las características “físicas” de las fuentes, más allá de la importancia o la calidad de sus contenidos, suele representar la mayor parte del trabajo de los productores de información.

Otro problema habitual es el de la diversidad de las fuentes, que obligará a un trabajo de reconstrucción de nomenclaturas para dar coherencia a los resultados. Asimismo, esto suele implicar la imposibilidad de obtener ciertos niveles de detalle en los resultados finales del trabajo.

Por último, es conveniente distinguir los datos vinculados a las fuentes nacionales de los otros datos disponibles. Los datos nacionales, que son el resultado tanto de encuestas como de actividades presupuestarias o de gestión (inscripciones universitarias, diplomas, gestión del financiamiento público), suelen ser de acceso gratuito, aunque muchas veces se requieren autorizaciones o acuerdos entre las instituciones involucradas. Además, los datos que por naturaleza no están concebidos para ser transmitidos, y que son con frecuencia utilizados por aquellos mismos que los producen, hacen que los archivos correspondientes estén poco documentados y sean difíciles de aprovechar; finalmente, para los datos relativos a las empresas, será aplicable la regla del secreto estadístico, lo que complica aún más la situación.

Por otra parte, existen bases de datos producidas en otros contextos y que permiten en general las comparaciones internacionales. Es el caso, especialmente, de los datos de publicaciones científicas, de patentes, sobre las firmas (por ejemplo, las afiliaciones financieras), o sobre el comercio internacional. El acceso a los datos se deriva generalmente de un contrato de tipo comercial, con sus cláusulas de propiedad intelectual, que restringen los derechos de uso. Por otra parte, para que sean posibles los cálculos de indicadores de ciencia, tecnología e innovación, debe realizarse una importante inversión en adaptación de los archivos, puesto que los datos no están concebidos para este tipo de uso.

Se puede mencionar también en este rubro, aunque de acceso público y gratuito, a los datos producidos por las organizaciones internacionales tales como la OCDE, EUROSTAT, UNESCO o RICYT, en el ámbito iberoamericano, que recogen, armonizan y redistribuyen los datos provistos por los países.

1.7. El paradigma teórico

La producción de información científica, tecnológica y de innovación, en el marco de la interacción entre productores y usuarios, está a su vez condicionada por el paradigma teórico que rige, moldea y limita la forma de pensar de ambos agentes. La producción de información conlleva, en forma inherente, una reflexión acerca del proceso social mediante el cual son generadas aquellas actividades de las que éstos dan cuenta. En otras palabras, la cuestión de los indicadores remite al desempeño de actores sociales concretos, en un determinado contexto,

desde la perspectiva intencional de formular diagnósticos orientados a la toma de decisiones y a la gestión.

La discusión acerca de los indicadores más apropiados, lejos de ser un tema menor, o de interés exclusivo para tecnócratas o amantes de las estadísticas, se sitúa en el corazón del campo de la política y gestión de la ciencia y la tecnología. Los indicadores constituyen un elemento de diagnóstico y, por lo tanto, deben ser funcionales al tipo de diagnóstico que se pretenda realizar. Los indicadores son derivados de los parámetros que se considera conveniente relevar. Discutir sobre indicadores, por consiguiente, es discutir acerca de cómo diagnosticar (Albornoz, 2001).

En el mismo sentido, la concepción propiamente dicha de la información a construir, tanto cuantitativa como cualitativa, implica la selección de datos y formas de presentación considerados como más pertinentes para la identificación y el análisis de determinados fenómenos. Como diferentes autores ya lo han profundizado, la construcción de información, sobre todo cuantitativa, sobre las relaciones de la ciencia y la tecnología con la sociedad debe estar intrínsecamente vinculada a un modelo conceptual que represente este sistema (Barré, 1993 y 2001; Velho, 1998; Sirilli, 1998). Es decir, la información sólo cobra sentido si se encuentra acompañada de un esfuerzo de conceptualización de los fenómenos que se proponen medir.

Sin embargo, la información en general, y las estadísticas en particular, son generalmente calificadas como representaciones objetivas de los hechos y en base a esta presunción es que son presentadas como un instrumento esencial de las políticas públicas. Las estadísticas permiten iluminar las elecciones políticas, informando y objetivando las decisiones como si fueran impersonales.

La sociología de la ciencia ha cuestionado por mucho tiempo esta afirmación, afirmando que las estadísticas son socialmente construidas. Esto significa que estas implican elecciones que dependen de varias consideraciones, que no tienen nada que ver con las ciencias matemáticas, y que tiñen los resultados que se obtienen.

Godin (2004) realiza una categorización de este tipo de decisiones que encuadran y definen los resultados de la producción de información. Estas elecciones pueden dividirse inicialmente en cuatro categorías:

- El fenómeno que se medirá (qué)
- Los instrumentos de medición (cómo)
- El objetivo de la medición (por qué)
- La persona a cargo de hacerlo (quién)

La medición de la ciencia y la innovación está marcada por substanciales dificultades que nada tienen que ver con las matemáticas de la medición (de hecho, no hay ningún símbolo o fórmula matemática en los manuales de la OCDE). El problema principal tiene que ver con la definición de los conceptos que serán medidos.

Por ejemplo, qué es la ciencia, qué es la investigación o qué es la innovación. La respuesta a esas preguntas depende sin duda de una realidad empírica, pero sólo en parte desde el momento en que esos conceptos están fuertemente enraizados en la forma en que se vienen midiendo por más de cuarenta años.

Más específicamente, la medición oficial de la ciencia y la innovación mide su objeto de estudio de una manera particular. Para empezar, la mayor parte de las mediciones abarcan sólo las ciencias naturales, médicas e ingenierías. Las ciencias sociales y humanidades son escasamente consideradas. El debate sobre si estas disciplinas son realmente ciencias es muy antiguo. Sin embargo, los técnicos estadísticos responden afirmativamente, al menos en los estándares, pero no siempre las consideran realmente en las encuestas (Godin, 2004).

Las estadísticas oficiales miden la ciencia usando el concepto de “investigación”. La investigación, tal como la medimos, es también sintetizada con el acrónimo I+D. Debemos admitir, sin embargo, que esas estadísticas hablan de muchas más cosas que lo que definimos con investigación. La “D”, de desarrollo, es una actividad llevada adelante principalmente en el sector privado, e incluso constituye la mayor parte de la I+D en los países desarrollados.

Por otra parte, un tipo muy específico de I+D constituye el sujeto de los relevamientos de información bajo la muy difundida norma del Manual de Frascati. Para ser considerada a fines estadísticos, la I+D tiene que ser institucional, es decir llevada adelante en alguno de los siguientes sectores: gobierno, industria, universidad, ONG. Pero más aún, la I+D sólo es medida cuando se ejecuta en un lugar específico: el laboratorio. La I+D realizada de forma descentralizada o de manera no sistemática no debe ser capturada, según los estándares de la OCDE. Por mucho tiempo, e incluso hoy, la I+D llevada adelante en PYME, en las ciencias sociales o el sector de servicios ha sido subestimada debido a estas convenciones.

Por otro lado, la medición de la ciencia y la innovación continuó su desarrollo por cierto tiempo antes de obtener sus propias herramientas. Las primeras estadísticas se construyeron sobre fuentes de datos existentes, como los directorios de los laboratorios industriales. De esa manera, lo que se construían eran proxis al fenómeno que se buscaba medir. Por ejemplo, la innovación fue medida por mucho tiempo utilizando la I+D, incluso cuando formalmente cubre un espectro mucho mayor de actividades. Finalmente llegó la encuesta específica y los estándares para armonizar la recopilación de información entre países.

Se puede notar, sin embargo, que durante toda esta serie de desarrollos existe un sesgo guiando los esfuerzos de medición. Después de sesenta años de trabajo estadístico aún siguen midiendo los insumos, o recursos, dedicados a las actividades científicas y tecnológicas, pero muy raramente los resultados y los impactos. Básicamente, es relativamente fácil contar los montos invertidos en estas actividades y esa ha sido la lógica de los Estados y los economistas. Los desafíos, aunque no insolubles, están en otros lados, como en lo que se refiere a la medición de los resultados que muchas veces permanecen intangibles, sin considerar que muchas veces se manifiestan sólo al cabo de un largo tiempo (Godin, 2004).

Más allá de eso, las estadísticas de ciencia y tecnología mantienen limitaciones metodológicas, la primera de las cuales tiene que ver con la definición de los

conceptos a medir. Este hecho es admitido por los estadísticos, quienes sin embargo no suelen reconocer las limitaciones de sus propias estadísticas cuando critican otras fuentes de información.

Por otra parte, muchas veces se encuentran notas metodológicas adjuntas a las tablas estadísticas. Su objetivo es calificar la información: calidad, alcance, etc. Sin embargo, estas notas metodológicas no siempre son muy detalladas, e incluso pueden aparecer en documentos separados, lo que no invita al lector a tenerlas en cuenta. De esa manera las estadísticas ganan su autonomía y legitimidad, circulando sin ninguna calificación o precaución.

En resumen, los lazos que unen la estadística y la política son múltiples. Van desde la comprensión del fenómeno que se decide observar (teoría), hasta la evaluación de las acciones de gobierno (práctica), sin mencionar los esfuerzos nacionales (simbólica). El análisis cualitativo está en todos lados en primera medida, mientras que las detalladas estadísticas administrativas vienen después (Godin, 2004).

Además, las estadísticas oficiales contribuyen a las políticas públicas cristalizando los conceptos que le sirven. Son las estadísticas oficiales las que impulsaron los tópicos más resonantes de la política científica: alta tecnología, sociedad de la información, economía basada en el conocimiento. Sin estadísticas, las discusiones de estas ideas hubieran sido mucho menos influyentes. A la vez, sin las definiciones políticas de qué medir y desde dónde hacerlo, esas estadísticas nunca hubieran existido.

1.8. El paradigma tecnológico

De la misma manera que las ideas que rigen la política y la gestión de la ciencia, tecnología e innovación, a modo de un paradigma teórico, limitan y moldean la información que se produce y cómo se la utilizará, existe también un paradigma tecnológico que puede limitar o enriquecer las posibilidades reales de producir esa información.

La magnitud de los cambios que se pueden dar en la producción y uso de la información ante un cambio tecnológico profundo ha quedado claro en los últimos años. La masificación de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) ha revolucionado drásticamente los procesos de generación de información en todos los ámbitos, y también en el campo de la ciencia y la tecnología.

Se puede hablar en ese punto de dos procesos paralelos, pero fuertemente relacionados. Por un lado, el avance en la capacidad de almacenamiento y procesamiento de las computadoras personales ha puesto sobre el escritorio de cada productor de información una potencialidad enorme en comparación con épocas anteriores. A la vez, la industria del software ha creado herramientas potentes, específicas y accesibles para el procesamiento estadístico de datos.

Por otra parte, la informatización de todo tipo de registros ha puesto al alcance una amplia gama de fuentes de datos impensadas en otros tiempos. En el terreno de la bibliometría, por ejemplo, el acceso en línea a bases de datos de publicaciones permite el procesamiento sencillo de estos datos poco tiempo después de su publicación, sin requerir esfuerzos significativos del lado del usuario

para obtener la información descriptiva básica de un país o una disciplina. Otro ejemplo es el de los registros de comercio internacional que, con un nivel de detalle asombroso, tienen una actualización casi en tiempo real y de cobertura mundial.

Aquellos trabajosos estudios pioneros de Derek De Solla-Price, basados en el análisis bibliométrico a partir de fichas confeccionadas manualmente resultan muy simples de replicar con la ayuda de la informática moderna. Sin embargo, y tal como el propio Price vaticinó, el crecimiento de la ciencia ha sido tal que hoy sólo es posible realizar estudios metodológicamente similares, guardando una adecuada cobertura temática o espacial, con la utilización de motores de bases de datos modernos y una cierta capacidad de procesamiento.

Sin embargo, los efectos de la sobreabundancia de datos e información no necesariamente resultan prácticos a la hora de aprovecharlos para la toma de decisiones, la gestión o la evaluación.

Esta situación puede ser vista como una paradoja en la que, por un lado, los responsables en la toma de decisiones deploran el estar mal o deficientemente informados y el no tener acceso a los documentos que necesitarían; mientras que, por otro lado, se quejan de estar sumergidos en una superabundancia de información y de no disponer del tiempo necesario para llegar a conocerlos. Ambos factores reflejan en realidad una única necesidad utópica: contar siempre con la información necesaria y no más que esta (Callon et al, 1995). La solución reside, no sólo en una mejora del acceso a las fuentes de datos, sino también a la puesta en funcionamiento de un sistema eficaz de tratamiento de la información.

En ese contexto, el papel del productor de información toma un lugar crucial. Tanto la selección de las fuentes a utilizar, entre un abanico de posibilidades muy amplio, como las técnicas de procesamiento a realizar son de gran importancia en el resultado y sus características, técnicamente cada vez más complejas, escapan al conocimiento del usuario medio. Por otra parte, se le requiere un esfuerzo de resumen y consolidación de la información.

Se le exigen al productor de información también nuevas formas de presentación de los resultados, muy lejos de los tradicionales informes en papel. La interactividad y navegabilidad de la información son cada vez más corrientes, basados en tecnologías informáticas que permiten al usuario, por ejemplo, recorrer y desagregar estadísticas de acuerdo a las necesidades, moverse en distintos niveles de detalle o cruzar variables según desee. Por otro lado, la actualización de la información se convierte en un factor igualmente crítico, hoy en día gracias a la disponibilidad de fuentes de datos en línea, la información “envejece” muy rápidamente.

Este nuevo contexto ha reconfigurado drásticamente el perfil del productor de información, que ahora requiere ciertas capacidades de apoyo tecnológico que antes no eran centrales en sus tareas cotidianas. De esa forma, ya no sólo el acceso a las fuentes resulta crítico, también lo son la capacidad de procesamiento, las herramientas que se pueden utilizar y los mecanismos de presentación y visualización de la información.

Este cambio del paradigma tecnológico, que ha modificado y condicionado claramente las posibilidades en la oferta y demanda de información, ha generado

también un importante desafío a nivel de las instituciones de este campo. A nivel mundial, los centros de información científica y tecnológica han buscado dar ese salto cualitativo a partir del aprovechamiento de las TIC y la informática. Esto ha implicado fuertes inversiones en equipamiento y recursos humanos, que no todas las instituciones han podido dar en la misma medida.

De esta manera, queda clara la fuerza con que el paradigma tecnológico condiciona la producción de información, actuando principalmente sobre los productores y las fuentes de datos, pero en gran medida moldeando también las demandas emanadas de los usuarios de información científica, tecnológica y de innovación.

Capítulo 2

Indicadores, política científica y evaluación

2.1. Los indicadores como espejo del sistema de ciencia, tecnología e innovación

Los indicadores son tan sólo expresiones cuantitativas de un fenómeno que se desea medir. Sin embargo, la determinación de indicadores apropiados al monitoreo de un determinado tema –como sucede con la información científica en general- no es un tema de carácter exclusivamente técnico. Los indicadores constituyen un elemento de diagnóstico y, por lo tanto, deben ser funcionales al tipo de diagnóstico que se pretenda realizar. Cada indicador surge entonces de los parámetros que se considera conveniente relevar (Albornoz, 2001).

En primer lugar, resulta útil distinguir a los indicadores de la información estadística. El dato estadístico es una característica numérica de una descripción empírica, mientras que el indicador supone una afirmación cuantificada que pone en relación ciertos objetivos prefijados con los recursos utilizados y los resultados obtenidos. La diferencia no recae sólo en la simplicidad que parece tener el dato estadístico con respecto al indicador, sino principalmente en que la construcción de un indicador implica una selección de información que se considera capaz de describir un objeto o una dinámica determinada. De esta manera, mientras que el dato simplemente informa, el indicador realiza una interpretación de la información (Mora, 2002; Vidal, 2001).

La construcción de un indicador, entonces, implica una operación de sentido sobre determinados datos o sobre la combinación de algunos de ellos. El sentido surge a partir de dos características, en primer lugar que un indicador incluye una acción comparativa que le es propia y le confiere parte de su carácter relativo. En segundo lugar, la operación de sentido aparece en la medida en que se la otorga su integración en un sistema, batería o familia de indicadores. Un indicador, entonces, es una información integrada a dos sistemas que le dan sentido, uno sintagmático –conformado por el conjunto de entidades comparables sometido a la observación a través de los indicadores- y otro paradigmático, el

sistema de indicadores al que pertenece. La correcta lectura de un indicador sólo es posible, entonces, dentro del “sistema de sentido” en el que fue creado (Pérez Rasetti, 2010).

La información aportada por el indicador se define en la medida en que selecciona información, la construye y establece el lugar de una entidad en relación a otras; es decir, no sólo describe de manera aislada, como lo haría una unidad de información estadística, sino que establece la relevancia de una información en la medida en que la selecciona para ponerla en relación dentro de una serie, ya sea la secuencia histórica de datos para el objeto de estudio o una comparación sincrónica con entidades similares (Pérez Rasetti, 2010).

De esta manera, los indicadores nunca son plenamente objetivos, en la medida en que fueron creados con un sentido específico, que responde a determinadas necesidades y prioridades. Suponen, entonces, la existencia de un modelo teórico que se propone dar cuenta de un determinado fenómeno de manera cuantitativa. Por este motivo, los indicadores cuantitativos nunca pueden separarse de la apreciación cualitativa que les dio origen.

Como se desarrolló en el capítulo anterior, la construcción de indicadores de ciencia y tecnología surge de la interacción entre productores, usuario y fuentes de datos, en el marco de contextos teóricos y tecnológicos. Por lo tanto, el resultado final está fuertemente condicionado por el proceso social mediante el cual son generadas aquellas actividades de las que éstos dan cuenta. Esto queda claro observando las diferentes familias y modelos de indicadores de ciencia, tecnología e innovación que se han ido desarrollando a lo largo del tiempo.

2.2. Indicadores y política científica a lo largo del tiempo

La política científica tal como la conocemos hoy, cuyo origen muchos autores señalan en la posguerra, ha ido cambiando a lo largo del tiempo. Una de las causas principales de este fenómeno es que, siendo el resultado de una interacción dinámica entre actores que representan diferentes motivaciones sociales y políticas, las agendas de la política científica se ven reorientadas constantemente por tensiones entre los actores intervinientes (Elzinga y Jamison, 1996). La política científica, entonces, ha experimentado cambios importantes a través del tiempo, cuyas causas pueden rastrearse en la evolución de la relación de los distintos actores con el poder, pero también en una mejor comprensión de la relación entre ciencia, tecnología y sociedad y del perfeccionamiento de los instrumentos creados por los gobiernos para lograr sus objetivos en este terreno (Albornoz, 2001).

Los indicadores de ciencia y tecnología, como herramientas de la política científica, evolucionan en el tiempo en la misma medida en que lo hace la comprensión de los procesos de producción, difusión y aplicación del conocimiento, distinguiendo el tipo de actividad científica y tecnológica de que buscan dar cuenta y por el aspecto específico que indican dentro de cada proceso. Dicho de otro modo, y siguiendo los pasos de la política científica, expresan las distintas visiones

que en cada momento se tienen de la relación entre la ciencia, la tecnología y la sociedad (Albornoz y Barrere, 2010).

Los primeros indicadores desarrollados sistemáticamente fueron, a propuesta de la UNESCO, los indicadores de actividades científicas y tecnológicas (ACT). Este tipo de indicadores proporcionaba una primera forma de distinción entre la investigación y desarrollo (I+D) y otras actividades centrales en el proceso de difusión del conocimiento, reflejando además la visión de la planificación de la época. Sus principales productos fueron inventarios de capacidades y de potencial en ciencia y tecnología.

Posteriormente, la OCDE canalizó un importante esfuerzo de normalización de indicadores centrados estrictamente en la I+D. Los indicadores de I+D, que actualmente son muy utilizados, en su origen reflejaban el comunmente llamado “modelo lineal” de la producción de conocimiento, es decir una concepción del modo de producción y difusión del conocimiento científico y tecnológico que pone el acento en la oferta de conocimientos generados en las instituciones de investigación. Se trata de un esquema mediante el cual es posible medir los recursos que ingresan al sistema, particularmente recursos humanos y financieros, así como los resultados obtenidos, expresados en publicaciones y patentes. Este modelo, originado en la década del cincuenta sigue estando vigente hoy en día y, a pesar de sus limitaciones y de las múltiples objeciones que ha despertado, y que serán analizadas más adelante, es el que subyace a los indicadores internacionalmente comparables.

Estos comienzos de la información cuantitativa en ciencia y tecnología se deben a impulsos de la National Science Foundation (NSF) y posteriormente a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) que sentaron las bases para la medición de los insumos de la I+D, plasmados en el Manual de Frascati (OCDE, 2002), cuya primera edición data de 1963 (Godin, 2000).

Si bien la OCDE es hoy un organismo con amplia influencia de la política científica a nivel mundial, y como tal se ha convertido en un foro privilegiado para la discusión de la información necesaria para la toma de decisiones en ese plano, sus orígenes se remontan a otra institución: la Organización Europea para la Cooperación Económica (OECE). La evaluación exitosa de esta institución, creada en 1948, llevó a que en 1961 fuera sucedida por la OCDE, de ámbito global.

La OECE surgió de la necesidad de generar acuerdos entre los países europeos sobre las medidas necesarias para la reconstrucción regional tras la Segunda Guerra Mundial y como organismo de supervisión de la distribución de la ayuda proveniente del Plan Marshall, mediante el cual Estados Unidos aportaba a la recuperación europea. En ese contexto, la producción de estadísticas que permitieran la medición de los procesos de recuperación y desarrollo se convirtieron en una competencia central del organismo, capacidad que luego heredó la OCDE. En un contexto geopolítico en el que el desarrollo científico adquiere un peso significativo, principalmente aquel ligado al terreno nuclear, la injerencia de la OECE y luego la OCDE en la política científica resulta cada vez más significativo (Santesmases, 2009). Las ideas y necesidades de información en estas instituciones fueron las que moldearon los primeros esfuerzos en la producción de estadísticas de ciencia y tecnología.

Siendo así los indicadores una herramienta fuertemente ligada a la toma de decisiones de política desde sus orígenes, la medición de las actividades relacionadas con la ciencia y la tecnología ha ido cambiando en respuesta a distintos “estilos” de política científica. No es casual entonces que los primeros indicadores se hayan centrado en los insumos de la ciencia, reflejando el enfoque adoptado en aquellos años, siguiendo las ideas plasmadas por Vannevar Bush en “Ciencia, la frontera sin fin”:

“(...) Las facultades, universidades e institutos de investigación con apoyo público y privado son los centros de la investigación básica. Son los manantiales de conocimiento y comprensión. Mientras sean vigorosos y saludables y sus científicos tengan la libertad de perseguir la verdad cualquiera sea el lugar al que conduzca, habrá un flujo de nuevos conocimientos científicos para quienes puedan aplicarlos a problemas prácticos en el gobierno, la industria u otros lugares. El progreso científico en un amplio frente resulta del libre juego de intelectos libres, que trabajen sobre temas de su propia elección, y según la manera que les dicte su curiosidad por la exploración de lo desconocido. En cualquier plan de apoyo gubernamental a la ciencia debe preservarse la libertad de investigación (...)” (Bush, 1999).

En resumen, la visión de la época sostenía que el Estado debe fomentar y financiar la investigación (principalmente básica) y, sin necesidad de intervenir en las decisiones de la comunidad científica sobre qué y cómo investigar, se obtienen resultados que redundarán, por ejemplo, en más empleo, avances en la salud, seguridad y bienestar de la sociedad. Dadas estas características, este modelo fue conocido posteriormente como el “modelo lineal” de la ciencia y la tecnología. Por este motivo, los indicadores que aparecen en este período, y que siguen siendo algunos de los más difundidos hasta nuestros días, apuntan a medir el esfuerzo nacional para la promoción de la investigación científica y tecnológica y su distribución en los sectores que ejecutan el financiamiento.

Fue en los años inmediatamente posteriores cuando apareció la preocupación por medir determinadas características de la comunidad científica y sus productos. Estas iniciativas, centradas principalmente en las universidades, se basaron en los trabajos pioneros de Derek De Solla Price, que abrieron camino al campo de la bibliometría, cuyas herramientas son ampliamente utilizadas en ámbitos que van desde la planificación de políticas hasta la evaluación de los investigadores.

En sus trabajos, Price buscaba enfocar las herramientas y metodologías científicas hacia la propia ciencia por primera vez, particularmente mediante la aplicación de los recursos de la estadística a la literatura científica, como una aproximación a los fenómenos sociológicos que rigen las dinámicas de la comunidad científica. En su obra “Little Science, Big Science”, que recopila cuatro conferencias, enfoca principalmente dos aspectos diferentes de la ciencia: sus patrones de crecimiento y sus dinámicas internas. Incluye también algunas consideraciones sobre los aspectos políticos de la gestión de la ciencia, en el contexto de las características que le asigna a la actividad científica a lo largo del libro (Price, 1963).

Posteriormente, desde mediados de la década del '60 y durante los '70, empezaron a surgir voces críticas con respecto al manejo de la ciencia. Movimientos universitarios, antinucleares y ecologistas señalaron a los científicos como los causantes de potenciales amenazas y los acusaron de convertirse en servidores

del complejo industrial-militar. Más aún, los reclamos se extendieron al manejo de los fondos presupuestarios dedicados a la ciencia, buscando que estos fuesen orientados a satisfacer necesidades y demandas de la sociedad civil. Estos reclamos también partieron de sectores gubernamentales que intentaban reorientar la investigación científica hacia fines socialmente relevantes, disputando la autoridad de los científicos para definir el camino de la ciencia (Albornoz, 2001).

Principalmente a partir de los años '80, todos estos cambios progresivos se ven reflejados en nuevos indicadores, mediante los cuales se busca cuantificar el desempeño y el impacto de la investigación científica y tecnológica en la sociedad, así como la colaboración de la ciencia con otros agentes socioeconómicos. Si bien puede suponerse que una mayor relación con otros agentes ajenos al sistema científico y tecnológico puede derivar en un mayor impacto, positivo o negativo, la medición de este fenómeno resulta muy difícil de medir, principalmente por tratarse de un fenómeno muy difuso y que solo puede verse en el largo plazo. Asimismo, los lazos que unen el nivel micro con las generalidades del nivel macro son muy difíciles de observar, por lo que los aspectos metodológicos de la medición resultan de gran complejidad. Por estas razones, si bien existen distintos trabajos preliminares, no se cuenta aún con una norma estandarizada para la medición del impacto social de la ciencia.

Los años '80 fueron también una época de cambios en el ámbito de la política científica, impulsados por las innovaciones organizativas implementadas en el sistema nacional de innovación japonés. La OCDE reflejó esta situación en su documento "Science and Technology Policies for the 1980's", editado en 1981, en el que buscaba definir pautas para estimular el desarrollo de las nuevas tecnologías y acercar a las empresas con las universidades. La vinculación universidad – empresa se convirtió en un tema emblemático de la época y todos los gobiernos ensayaron distintos instrumentos destinados a fortalecerla (OCDE, 1981).

En esa misma época, la comunidad académica volvió a prestar atención a la teoría de la innovación formulada a comienzos de siglo por Joseph Schumpeter, como parte de la búsqueda de nuevos marcos conceptuales que permitieran orientar la reestructuración económica y el fortalecimiento de la competitividad. Estas preocupaciones dieron lugar a las primeras encuestas sobre políticas e instrumentos de estímulo a innovación llevada a cabo a comienzos de los '80 por la OCDE.

Esta iniciativa dio lugar a una serie de trabajos metodológicos que quedaron plasmados definitivamente en otro de los manuales de la OCDE: "Directrices propuestas para la recogida e interpretación de los datos sobre innovación tecnológica – Manual de Oslo" (OCDE, 1997a). Este documento ha guiado el relevamiento de información sobre innovación desde entonces y ha tenido una revisión en 2005.

Un proceso similar ocurrió en América Latina, donde la preocupación por la innovación tecnológica se vio reflejada en el "Manual de Bogotá" (RICYT, 2001), con propuestas para la medición de estas actividades, pero considerando las características particulares de la región. Gracias a este documento, hoy se cuenta con encuestas comparables en varios países y el manual fue tomado como insumo para la revisión del Manual de Oslo.

Ya en la década del '90, el modelo lineal implícito en la propuesta de Vannevar Bush fue definitivamente cuestionado. El análisis de los procesos de innovación

en las empresas puso en evidencia que ni todas las innovaciones tienen su fuente en los resultados alcanzados por los científicos en sus proyectos de investigación, ni todos los conocimientos básicos producidos en los laboratorios, potencialmente aplicables a la resolución de problemas prácticos en la industria, llegan a ser efectivamente transferidos. Puso en evidencia también que el modelo de difusión social de los conocimientos es más complejo que una simple línea entre emisores y receptores, o entre centros productores de conocimientos científicos y los usuarios (Albornoz, 2001).

Estas revisiones de los procesos de producción de conocimiento han dado lugar a nuevas teorías, como los trabajos de Michael Gibbons (1997) sobre los modos de producción del conocimiento científico y el modelo de la triple hélice enunciado por Leydesdorff y Etzkowitz (1996). Estos enfoques ponen énfasis en las relaciones entre actores, sus mutuas influencias, y las características de su organización a la hora de determinar y abordar las actividades de investigación. Esta importancia dada a la relación entre los actores fue impulsada también por la revolución de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones, que permitieron hablar ahora de una “sociedad de la información”.

Es así como, una vez más, una serie de indicadores han aparecido con la intención de reflejar los nuevos intereses de los tomadores de decisión en el campo de la política científica. Se ha avanzado, por ejemplo, en la búsqueda de metodologías para la construcción de indicadores de sociedad de la información, colaboración internacional e internacionalización de la ciencia.

Estas diferentes miradas sobre los factores críticos de la ciencia, la tecnología y la innovación, y las familias de indicadores a las que dieron lugar, tuvieron mayor o menor grado de desarrollo, aceptación y aplicación a nivel mundial. Las principales familias de indicadores quedaron reflejadas en manuales o documentos metodológicos de la OCDE, luego de discusiones en el seno de ese organismo. A continuación se describen cada una de ellas.

2.2.1. Los indicadores de I+D y el modelo lineal

El primero y más difundido de los manuales de la OCDE es el “Manual de Frascati”, que bajo el título de “Propuesta de norma práctica para encuestas de investigación y desarrollo experimental”, es la norma internacionalmente aceptada para la medición de la I+D. Su primera versión data de 1963 y desde entonces ha sido revisado en seis oportunidades, la última en 2002.

El corazón del manual es su definición de I+D, que se ha convertido en el punto de partida para la mayoría de los abordajes de estas actividades, incluso más allá de su medición cuantitativa. Según la definición contenida en el Manual de Frascati, “la I+D comprende el trabajo creativo llevado a cabo de forma sistemática para incrementar el volumen de conocimientos, incluido el conocimiento del hombre, la cultura y la sociedad, y el uso de esos conocimientos para crear nuevas aplicaciones” (OCDE, 2002). A pesar de que en las primeras ediciones del manual sólo se incluían bajo su cobertura las ciencias naturales e ingenierías, desde la tercera revisión se incluyen también las ciencias sociales y las humanidades.

Dentro de la I+D se incluyen tres tipos de actividad, definidas también en el manual de la OCDE. Por un lado, la investigación básica, consistente en trabajos experimentales o teóricos que se emprenden principalmente para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de los fenómenos y hechos observables, sin pensar en darles ninguna aplicación o utilización determinada. En segundo lugar aparece la investigación aplicada, que consiste también en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos, pero dirigida hacia un objetivo práctico específico. Por último, la etapa del desarrollo experimental incluye los trabajos sistemáticos que aprovechan los conocimientos existentes obtenidos de la investigación o la experiencia práctica, y está dirigido a la producción de nuevos materiales, productos o dispositivos; a la puesta en marcha de nuevos procesos, sistemas y servicios, o a la mejora sustancial de los ya existentes. Los límites de esta definición, en la práctica, suelen ser bastante difíciles de determinar a la hora de la recolección de datos. Por tal motivo, el manual incluye un amplio desarrollo de los límites específicos y los casos de frontera.

Dentro de los recursos humanos se debe cubrir a todo el personal empleado directamente en I+D, así como a las personas que proporcionan servicios directamente relacionados con esas actividades, como directores, administradores y personal de oficina. Se recomienda que la información referida a los recursos humanos dedicados a I+D sea expresada tanto en personas físicas como en equivalente a jornada completa. La combinación de ambas perspectivas permite contar con un panorama real del esfuerzo dedicado por un país. En el caso de personas físicas, se recomienda contar también con el detalle de género y edad.

Tanto para los recursos humanos como para los recursos financieros, las distribuciones funcionales propuestas en el Manual de Frascati incluyen:

- Tipo de I+D
- Grupo de productos (clasificación industrial)
- Áreas científicas y tecnológicas
- Objetivos socioeconómicos

Para la obtención de los datos necesarios para la construcción de los indicadores, el Manual de Frascati recomienda la realización de encuestas a las unidades que se sabe, o se presume, realizan actividades de I+D, tanto en el sector gobierno como en las empresas e instituciones privadas sin fines de lucro. El manual cuenta con un capítulo dedicado a los métodos de encuestas en los diferentes sectores, aportando criterios operativos y técnicas para la estimación ante las faltas de respuesta total o parcial. Sin embargo, en el manual se reconocen las dificultades económicas y operacionales relacionadas con la ejecución de encuestas a las unidades ejecutoras de I+D y se proponen métodos alternativos para la recolección de información.

Además, dadas las características de la ejecución de encuestas, los esfuerzos necesarios para maximizar el número de respuestas y las complejidades de su procesamiento, la disponibilidad de los datos se obtiene recién luego de varios meses de cerrado el ejercicio que se está relevando. Por ese motivo, si bien es imposible reemplazar la confiabilidad de los datos obtenidos por encuestas

directas a las unidades ejecutoras de actividades científica y tecnológicas, no es menor la demanda de estimaciones y proyecciones que den indicios de la evolución de los indicadores más necesarios para los tomadores de decisiones en política científica y tecnológica y los evaluadores de programas con efecto directo sobre el sistema científico, tecnológico y de innovación.

Por ese motivo, el Manual de Frascati cuenta con un anexo específico referido a los métodos prácticos para la obtención de estimaciones y proyecciones. Se trata de metodologías simples y a corto plazo, destinadas a estimar los valores de las principales variables de los insumos de I+D, para la obtención de resultados preliminares del año en curso.

El Manual de Frascati es tan sólo una serie de recomendaciones prácticas para la medición de los insumos de I+D, pero refleja claramente las ideas vigentes en la época de su concepción, en particular esa idea lineal de la producción de conocimiento.

De acuerdo a este modelo lineal, el sistema científico y tecnológico se alimenta de recursos financieros y humanos, que se recombinan dentro del sistema de I+D, dejando como resultado publicaciones y patentes, como productos tangibles de la producción de conocimiento básico en el primer caso y del desarrollo tecnológico en el segundo. En esta concepción del desarrollo científico la disponibilidad de conocimiento resulta el punto crítico del sistema, ya que la aplicación de sus resultados a problemas concretos y el desarrollo de nuevos productos queda en manos del mercado. En este marco, el papel de los Estado se centra en la promoción de la investigación para la creación de nuevos conocimientos.

En paralelo a la visión lineal de la producción de conocimiento, tenía gran peso en el pensamiento de la época la independencia de la comunidad científica. El argumento recaía en que sólo los científicos disponen del conocimiento para determinar qué temas debían abordarse y cómo resultaba correcto hacerlo. Justamente esas ideas -la importancia de la investigación básica y el papel del Estado como mero promotor de la I+D- fueron las que dieron lugar a la creación de la NSF (Godin, 2000). En ese contexto, no es casual que los esfuerzos para la construcción de indicadores que permitieran monitorear la I+D se centraran en la contabilización de los insumos que se inyectan al sistema científico y tecnológico.

Hacia principios de los años sesenta, ya existían series temporales confiables de la evolución de los recursos humanos y financieros de la I+D en los Estados Unidos. Sin embargo, se carecía de la posibilidad de comparar esos indicadores con otros países, por lo que las posibilidades de análisis se veían fuertemente limitadas. Por esos motivos, la NSF impulsó el tema en el seno de la OCDE, obteniendo como resultado el Manual de Frascati en 1963.

Esta familia de indicadores no carece, sin embargo, de objeciones. El principal objeto de críticas hacia este tipo de indicadores recaen en que el sistema científico aparece como una caja negra, dado que los procesos que contiene no son abordados. Los esfuerzos en la medición se centran en los insumos en el caso del Manual de Frascati o en los productos, como se verá posteriormente, pero dejan de lado los mecanismos y procesos por los cuales esos recursos humanos y financieros se asocian para dar lugar a la producción de conocimiento nuevo.

Por el contrario, la principal fortaleza de la medición de los insumos de I+D según las normas del Manual de Frascati reside en la tangibilidad de aquello que busca medir: recursos financieros dedicados a la I+D y recursos humanos implicados en esas actividades. Ambas cosas pueden ser contabilizadas con relativa sencillez a partir de los registros resultantes de la gestión de los centros de investigación y desarrollo.

Es en buena medida por esta facilidad práctica, en paralelo a la riqueza informativa que ofrece, y a pesar de las limitaciones que puede presentar el modelo, los indicadores de I+D basados en las metodologías del Manual de Frascati son los más difundidos a efectos comparativos a nivel mundial y son la base sobre la que se han ido construyendo otras familias de indicadores de mayor complejidad. Hoy en día se cuenta con datos comparativos, generados en base las recomendaciones de Frascati, para casi un centenar de países en todo el mundo.

2.2.2. Indicadores de stock de recursos humanos. Cuantificación del potencial de la base científica

El Manual de Frascati apunta a monitorear los insumos efectivamente empleados en la I+D. Sin embargo, de cara a políticas de desarrollo, el análisis de la capacidad potencial de recursos humanos que pueden ser empleados en actividades científicas y tecnológicas tienen también una importancia clave. La posibilidad de expandir la base científica resulta mucho menos flexible que el crecimiento el financiamiento para estas actividades, dado el tiempo requerido para la formación de técnicos y profesionales altamente capacitados.

Esta problemática dio lugar a otro documento de la OCDE, el “Manual para la medición de recursos humanos dedicados a ciencia y tecnología” – Manual de Canberra – que fue editado por la OCDE en 1995 y es parte de la Familia Frascati de manuales para la medición de actividades científicas y tecnológicas (OCDE, 1995).

El objetivo de este manual es ofrecer un marco conceptual para la medición de recursos humanos altamente calificados, considerando que éstos son esenciales para el desarrollo y la difusión del conocimiento. Este enfoque busca dar cuenta del stock de recursos humanos potencialmente disponibles en el sistema, más allá de su empleo efectivo. Este enfoque resulta muy para la elaboración de políticas nacionales de ciencia y tecnología en el mediano y largo plazo, ya que la disponibilidad de profesionales altamente capacitados resulta un factor tanto o más crítico que los recursos financieros disponibles en el sistema. Asimismo, el estudio de los fenómenos de movilidad internacional de científicos e ingenieros requiere de información cuantitativa orientada al stock disponible, particularmente en el marco de los debates sobre el impacto de la “fuga de cerebros” (Brandi, 2006).

El Manual Canberra tiene como propósito medir el acervo de Recursos Humanos en Ciencia y Tecnología (RHCT) de una sociedad determinada (mundo, país, región, etc.). Aunque idealmente el concepto de RHCT debe abarcar a todas las personas efectiva o potencialmente dedicadas a generación, difusión o aplicación sistemática del conocimiento científico, el manual provee de lineamientos para una determinación común del universo abarcado. Según la definición del propio

manual, componen el conjunto de RHCT aquellas personas que completaron exitosamente el tercer nivel de educación de un campo de conocimiento científico o tecnológico que, si bien no están formalmente calificados, son empleados en una ocupación de ciencia y tecnología donde la calificación mencionada es normalmente requerida (OCDE, 1995).

El conjunto definido por el nivel educativo (RHCTE) incluye a aquellas personas que han completado niveles formales equivalentes o superiores a la categoría 5 del International Standard Classification of Education (ISCED), es decir a partir del nivel de educación terciaria. Por otro lado, el conjunto definido por la variable de ocupación (RHCTO) incluye a las personas incluidas en los grupos 2 (profesionales) y 3 (técnicos) del International Standard Classification of Occupation (ISCO), junto con los subgrupos 122 (gerentes de departamentos de producción y operaciones), 123 (otros gerentes de departamento) y 131 (gerentes generales).¹

Por otra parte, resulta interesante analizar por separado el conjunto de RHCT que se encuentran en la intersección de los RHCTE y RHCTO, es decir individuos que alcanzaron el tercer nivel de educación formal y que se encuentran ocupados en actividades científicas y tecnológicas. A éste grupo se lo denomina Núcleo (RHCTN).

Las desagregaciones recomendadas por el manual incluyen:

- RHCT por nivel de educación formal alcanzado
- RHCT por disciplina científica
- RHCT por grupo de ocupación
- RHCT por condición de actividad
- RHCT por sector de ocupación
- RHCT por tipo de actividad

Las fuentes de información que el manual recomienda a nivel nacional para la construcción de indicadores de stock y flujo de recursos humanos pueden clasificarse en tres grupos: los registros primarios, los censos de población y encuestas específicas. Cada una de ellas se discute en detalle más adelante.

La diferencia de enfoque de este tipo de indicadores con respecto a los de insumo de I+D apunta a monitorear la capacidad potencial de los recursos humanos disponibles para las actividades científicas y tecnológicas. En este caso se apunta no sólo a los individuos realmente ocupados en ciencia y tecnología, un conjunto más abarcativo que la I+D, sino también a dar cuenta de aquellos que

¹Además de esta condición inicial para conformar los RHCTO, se deben tener presente dos salvedades más que restringen en parte este conjunto. La primera es relativa a los cargos o funciones desempeñados dentro de las instituciones de ciencia y tecnología. A modo de ejemplo, el Manual de Canberra detalla, como ejemplos de personas trabajando en actividades de CyT pero a un nivel demasiado bajo para ser incluidos como RHCT (a menos que posean un graduación de tercer nivel), a las secretarías de un departamento de I+D, empleados de una biblioteca universitaria y operadores de data-entry en un instituto de estadísticas (OCDE, 1995).

cuentan con el nivel de calificación necesario para ser empleados en este tipo de actividades.

La importancia de este tipo de información reside en que las políticas de ciencia y tecnología encuentran con frecuencia una limitante en la disponibilidad de personal altamente capacitado, ya que la formación de recursos humanos requiere un plazo temporal relativamente largo. Si bien es posible inyectar recursos financieros en el sistema con relativa velocidad, o fomentar la interacción entre los actores que intervienen, formar recursos humanos altamente capacitados requiere un horizonte temporal muchas veces no menos de cinco años.

Este tipo de políticas, de alto costo y complejidad, que necesita además ser sostenida en el tiempo, requiere un alto nivel de detalle en la información que le dé sustento. A esas demandas apunta la familia de indicadores contenida en el Manual de Canberra.

2.2.3. Los indicadores bibliométricos. Siguiendo las huellas de la investigación científica y tecnológica

La medición de los resultados de la ciencia a partir de las publicaciones requiere una reflexión inicial sobre el objeto de análisis de los indicadores bibliométricos: el sistema de publicación de la ciencia y su papel en los procesos de producción del conocimiento. Las revistas científicas, junto con las pautas y reglas que regulan su funcionamiento, son el canal por el cual los investigadores hacen público de manera “oficial” el resultado de su trabajo. El conjunto de las publicaciones científicas encarnan, entonces, el acervo de conocimiento disponible y, a la vez, demarcan el campo y dan escenario a los debates científicos (Maltrás, 2003).

Este tipo de indicadores sólo ha sido abordado tangencialmente por la OCDE hasta el momento. Si bien existen documentos interesantes sobre este tema editados por la organización (Okubo, 1997), estos estudios no han llegado a plasmarse en un manual metodológico. El desarrollo de los indicadores bibliométricos ha tenido una mayor evolución en el ámbito académico, tanto para estudios reflexivos de la comunidad científica como constituyendo herramientas de evaluación de la investigación.

La validez de los indicadores bibliométricos depende de que su materia prima, las publicaciones científicas, sean representativas de los resultados de la investigación. Esto implica que existan mecanismos que garanticen la estabilidad de sus contenidos y la calidad de los mismos.

De manera esquemática, el sistema de publicación científica comienza con el investigador que envía a una revista especializada los resultados detallados de sus investigaciones. El editor reenvía estos trabajos, sin revelar el autor, a una serie de expertos que evaluarán el texto y recomendarán o no su publicación, de acuerdo su originalidad, calidad metodológica y valor científico. En algunos casos, los evaluadores pueden enviar comentarios a los autores, pidiendo precisiones o proponiendo mejoras en los trabajos.

Posteriormente, los trabajos aprobados son publicados y quedan a disposición del resto de la comunidad científica y pueden servir como punto de partida

en futuros trabajos de investigación. De este modo, se busca dar un carácter acumulativo a la producción de conocimiento, con propiedades de solidez y sistematicidad que favorezcan el crecimiento de ese acervo de conocimiento “certificado”.

Callon, Courtial y Penan proponen cuatro etapas en el ciclo de producción de conocimiento, que permiten esquematizar claramente ese proceso (Callon et al, 1995):

- *Producir datos e interpretarlos*: La actividad de investigación parte de la formulación de temas de estudio y, con el objetivo de dar respuesta a ciertas preguntas, el científico concibe experimentos que movilizan equipamiento, investigadores y técnicos. Estos experimentos producen datos, que luego de ser interpretados, preceden a la publicación de un artículo.
- *Publicar*: El investigador identifica las revistas que parecen más apropiadas para llegar al público pretendido. Suponiendo que el artículo interese a la revista, el artículo es objeto de comentarios críticos y revisiones por parte de evaluadores. Como resultado de la publicación, el autor puede recibir críticas y cuestionamientos que impliquen la revisión de las metodologías o los resultados y, eventualmente, una nueva publicación. Una vez que el artículo es leído y aceptado, el asunto se da por zanjado y el investigador puede comenzar nuevamente el ciclo, abordando un nuevo tema de investigación.
- *Interactuar*: El laboratorio no se encuentra aislado del entorno. Para encontrar un nuevo tema de investigación es necesario escribir proyectos y someterlos a evaluación para su financiamiento. En caso de obtenerse el dinero, se contrata personal y adquieren equipos. Al mismo tiempo, la producción de datos se complementa con información contenida en artículos científicos generados por otros científicos, por lo que la interacción con los pares es de central importancia.
- *Ser reconocido*: El investigador que publica artículos que sus colegas consideran importantes es reconocido con prestigio que aumenta su credibilidad (capital vital para la obtención de financiamiento y proyectos nuevos).

Aparecen aquí dos rasgos particulares. En primer lugar, no intervienen en este proceso incentivos económicos directos, los científicos que remiten sus trabajos no esperan una recompensa económica por esto y, por el contrario, en caso de ser aceptados para su publicación, muchas veces acceden a pagar algún monto en base a la longitud del trabajo, la inclusión de una determinada cantidad de fotos o figuras o para garantizar la velocidad en la publicación del trabajo. De la misma manera, los evaluadores tampoco suelen recibir compensaciones económicas por su trabajo.

En segundo lugar, las restricciones de acceso a la publicación están dadas por la evaluación de pares. La única garantía de validez y calidad está dada por miembros de la propia comunidad científica, que pueden desempeñar alternativamente el papel de evaluador o de evaluado. Es entonces importante identificar, si no son económicos, cuáles son los incentivos a la publicación y, al mismo tiempo,

definir en mayor detalle los mecanismos mediante los cuales la propia comunidad científica busca garantizar la calidad del conocimiento que tendrán luego aceptará como válidos a partir de su publicación en revistas científicas.

Las diferentes escuelas que han analizado la sociología de la ciencia coinciden en que la motivación a publicar por parte de los científicos no es económica sino que está relacionada con el reconocimiento por parte de su comunidad. En el caso de Merton, el sistema de publicación de la ciencia es el mecanismo establecido para el establecimiento de la prioridad de los descubrimientos y, el interés por asentar esa prioridad está relacionado con los mecanismos institucionales de recompensa en las ciencias. El reconocimiento es la contrapartida motivacional en el individuo del valor asignado institucionalmente a la originalidad, y es entregado por la comunidad de pares mediante diversas formas honoríficas. A su vez, la comunidad se organiza en torno a los imperativos institucionales resumidos en el acrónimo CUDEO enunciado por Merton y, en este caso recompensando a los individuos que ponen en común sus descubrimientos (Merton, 1942).

Posteriormente, recogiendo diversas críticas al enfoque de Merton se conforma la propuesta metodológica del Programa Fuerte, orientado a los estudios de laboratorio. Una de las principales afirmaciones es que no debe excluirse del análisis sociológico a los contenidos cognoscitivos de la ciencia, considerados neutrales en el enfoque mertoniano. Esta teoría se centra en los procesos sociales que explican el surgimiento y la consolidación de esos contenidos (Latour y Woolgar, 1979).

De esta manera, las motivaciones y los mecanismos de poder dentro de la ciencia varían fuertemente entre estos enfoques, desde la aspiración moral mertoniana a la lucha por los recursos en los estudios de laboratorio. Sin embargo, la idea del reconocimiento como impulsor de la actividad científica no cambia demasiado, como tampoco varía la forma de plasmar la obtención de reconocimiento: la publicación científica. En resumen, es necesario atender a tres sentidos o dimensiones del reconocimiento en la ciencia: como admisión en la comunidad científica, como convalidación de las contribuciones y como valoración de la capacidad en relación con otros colegas.

En cuanto a la admisión en la comunidad científica, la obtención de un título académico no garantiza la inserción en la comunidad científica. El científico adquiere esa condición cuando es así considerado por el resto de sus pares. El reconocimiento, en este sentido, consiste en demostrar ante los demás la capacidad de comprender, aplicar y desarrollar los saberes y capacidades propios de la ciencia (Maltrás, 2003).

Sin embargo, esto es posible de demostrar ante el grupo cercano de colegas. Para conseguir el reconocimiento, como admisión a la comunidad científica en un sentido más amplio, es necesario demostrar la capacidad mediante un aporte propio al acervo de conocimiento. Ese es otro sentido del reconocimiento, como la aceptación de los aportes de un investigador en base a la evaluación por parte de los pares de la comunidad. Los conocimientos nuevos son, por lo general, vistos con precaución por otros investigadores hasta que pueden ser comprobados. La convalidación de los aportes reside entonces, en superar una crítica severa por parte de otros investigadores.

Finalmente, la valoración de la capacidad en relación con los otros da al reconocimiento un sentido acumulativo, por el cual se organizan las relaciones

dentro de la comunidad y asigna a cada investigador un papel en una sociedad estratificada.

Una vez más, el terreno en el que se plasman todos estos sentidos del reconocimiento es la publicación de los resultados en revistas científicas, que se convierte en el “archivo” de la ciencia, dando sostén al carácter acumulativo del conocimiento científico. Este acervo de conocimiento es la referencia constante en la producción de nuevos conocimientos, característica típica de la ciencia moderna que desde el siglo XIX empieza a utilizar la cita a trabajos previos como conexiones explícitas que generan un conocimiento estructuralmente sólido (Price, 1963).

Por otra parte, además de servir como sostén de la prioridad y el reconocimiento, en términos prácticos el sistema de publicación atesora una continua fuente de inspiración para los científicos activos que, además de heredar los logros pasados, reciben problemas pendientes, métodos y técnicas, y también indicaciones para no desperdiciar esfuerzos en caminos estériles.

Sin embargo, el ingreso a este acervo de conocimiento no es automático, sino que cuenta con un importante sistema organizado de filtros que garantizan la calidad de los resultados científicos: el sistema de evaluación por pares. De esta manera, ya desde los orígenes de las publicaciones científicas, se establece un mecanismo de revisión rigurosa que permite confiar en la obra de otros que se encuentra publicada. Estos mecanismos de control de calidad y adecuación a los cánones científicos están orientados a mantener el crédito y la reputación de los miembros de la comunidad (Maltrás, 2003).

La revisión que sirve de filtro al ingreso del sistema de publicación se caracteriza por tres aspectos: paridad (es realizada por colegas de la misma condición), pluralidad (se demanda el dictamen de varios árbitros) y anonimato (la identidad del autor y de los árbitros se mantiene oculta en todo el proceso de evaluación).

En base a lo considerado anteriormente, es posible dar cuenta de la base teórica de los indicadores bibliométricos, como expresiones de la producción del conocimiento. Por un lado, la necesidad de reconocimiento (reflejada también en los mecanismos burocráticos de evaluación) impulsa a los científicos a publicar todos sus resultados, mientras que el sistema de revisión por pares de las revistas científicas garantiza que los documentos que se contabilizan tienen calidad y originalidad científica.

La evolución teórica de los indicadores se inicia en los años sesenta, principalmente con Derek de Solla Price, autor de una de las obras fundacionales de ese campo: “Little science, big science”, de 1963. En ella busca enfocar las herramientas y metodologías científicas hacia la propia ciencia por primera vez, particularmente mediante la aplicación de los recursos de la estadística a la literatura científica, como una aproximación a los fenómenos sociológicos que rigen las dinámicas de la comunidad científica.

Esta obra, que recopila cuatro conferencias, se enfoca principalmente en dos aspectos diferentes de la ciencia: sus patrones de crecimiento y sus dinámicas internas. Incluye también algunas consideraciones sobre los aspectos políticos de la gestión de la ciencia, en el contexto de las características que le asigna a la actividad científica a lo largo del libro.

El principal aporte de Price en cuanto al crecimiento de la ciencia reside en su identificación como una función logística, es decir que en su estadio inicial de crecimiento es aproximadamente exponencial, hasta que al cabo de un tiempo la tasa de crecimiento disminuye y, finalmente, se detiene.

El acelerado crecimiento que Price consigue cuantificar en la ciencia de su época, medido ya sea por los recursos humanos o por la producción bibliográfica, pone en evidencia un crecimiento exponencial característico de las primeras etapas de una curva logística. Una de las características que llaman la atención del proceso es la marcada contemporaneidad de la ciencia y para resaltarlo el autor señala que el 80% de los científicos de toda la historia estaban vivos en ese momento.

Evidentemente ese crecimiento no podía ser sostenido ya que, por ejemplo, al ser superior al crecimiento demográfico, la proyección de los valores de 1963 indica que un siglo más tarde “tendríamos dos científicos por cada hombre, mujer, niño o perro”. Por tal motivo, afirmaba Price, la ciencia de su época estaba transitando sus últimos años antes de enfrentarse a una crisis de saturación que la llevará a detener el aumento acelerado de volumen que la caracterizó durante los últimos tres siglos.

El otro aspecto abordado por “Little science, big science” está referido a las dinámicas que rigen el comportamiento de los científicos y que afectan las relaciones entre sí. Ya desde los inicios de los estudios cuantitativos de la ciencia, Price reconocía que considerar simplemente la suma de investigadores o de sus artículos podía llevar a interpretaciones erróneas, afirmando que “para considerar los resultados tangibles del trabajo científico de modo más profundo que con un mero recuento, es necesario saber mucho más acerca de la organización social de la ciencia y de la psicología del científico” (Price, 1963).

Sobre esa idea, viendo al artículo científico como un soporte de la investigación, las citas de referencia se transforman en la materia prima sobre la que es posible reconstruir el entramado de ideas que da origen a cada publicación, poniendo en evidencia la forma que cada artículo se apoya en otros anteriores y como luego se convierte en la base de otros nuevos. Por lo tanto, la utilización de citas da cuenta, por un lado, del carácter acumulativo del conocimiento científico, es decir que los nuevos enunciados no se sostienen por sí mismos, sino que se apoyan sobre el trabajo de anterior de la comunidad científica. Por otra parte, dada la amplitud de los campos científicos, señala la necesidad de asimilar el trabajo de los colegas en vez de duplicarlos.

Sin embargo, excluyendo las citas de autoridad mediante las cuales se utilizan menciones a trabajos especialmente importantes en un campo como marco conceptual o para validar la pertinencia del enfoque escogido, las menciones incluidas hacen referencia a trabajos de un conjunto relativamente reducido de investigadores que forman parte del círculo más cercano de colegas del autor (Price, 1963).

Esto es debido a que, en conjunto, un científico podría relacionarse con un grupo de colegas que tiene un tamaño efectivo de unos pocos centenares de miembros. Estos grupos cuentan con diversas formas de comunicación y están ligados, por lo general, a una misma revista científica. El crecimiento acelerado de la masa de investigadores, junto con la creciente necesidad de especialización, produce divisiones constantes de esos grupos de científicos en ramas más pequeñas que

siguen manteniendo el volumen cercano a los cien individuos, entre los cuales aparecen una cantidad de figuras importantes de ese campo científico relacionadas entre sí.

Estos grupos cuentan con procedimientos de comunicación diaria, que exceden la lectura de los artículos difundidos en una determinada revista científica. Estos caminos alternativos, de carácter mucho más informal, van desde el envío de preprints hasta los encuentros personales en reuniones científicas.

Estos grupos, relativamente reducidos y con un fluido intercambio de información constituyen lo que Price denomina “colegios invisibles”. Dentro de ellos existe una organización basada en el prestigio y estatus otorgado por los propios colegas y, mediante canales de comunicación informales y alternativos, se consiguen resolver los problemas de información que debe enfrentar la creciente comunidad científica, reduciendo un grupo amplio a otro selecto en el que resulta posible la relación interpersonal (Price, 1963).

La proliferación de la colaboración ha crecido aún más gracias a la utilización masiva de medios de comunicación electrónica, que acrecientan las posibilidades de intercambio aún mucho más. Por este motivo, es cada vez más común que los grupos de investigación adquieran un carácter transnacional.

El crecimiento de las publicaciones firmadas conjuntamente por instituciones de más de un país da cuenta del crecimiento de este fenómeno. Según los datos del Science Citation Index (SCI), en 1990 se indexaron 51.596 registros con coautoría internacional, mientras que en 2000 el número había ascendido a 121.432. Entre las causas de este fenómeno se cuentan también creciente especialización de los campos científicos y el aumento del financiamiento público a la I+D ya mencionados por Price, siguiendo patrones geográficos preexistentes (de proximidad geográfica o cultural) y dinámicas de crecimiento desigual que impulsan a los pequeños a colaborar con los líderes (Wagner y Leydesdorff, 2003).

Este movimiento hacia la colaboración masiva es considerarla como una extensión natural del crecimiento creado por el cambio constante de la distribución de Pareto de la productividad científica (Price, 1963). El principio de Pareto, originalmente aplicado a la distribución de la renta, consistía en la observación de que el 20 % de los miembros de la sociedad italiana de su momento poseían el 80 % de la riqueza.

La aplicación de este principio a la productividad de los autores científicos dio lugar a la Ley de Lotka, que afirma que la producción de los investigadores se rige por una función cuadrática inversa, de manera que existe una tendencia continua a que aumente la productividad de los autores más prolíficos y el número de los que tienen escasa producción.

A medida que nos acercamos al extremo más productivo de la curva queda claro que la producción de estos investigadores no es fruto de una tarea solitaria, sino de la de un grupo de investigación a su cargo. Se trata de los investigadores más destacados de los colegios invisibles, que a pesar de su carácter no formalizado cuentan con una estructura basada en el prestigio y la confianza determinada por la evaluación de los propios pares.

La fuente de información más difundida para los estudios de producción científica y para los indicadores bibliométricos, consiste en la extracción de información

estadística de bases bibliográficas. Estas fuentes de información cuentan con datos acumulados durante muchos años, de los documentos publicados en revistas científicas seleccionadas. Contienen referencias bibliográficas que incluyen el título del artículo, sus autores, la pertenencia institucional de los mismos, la revista de publicación y el abstract del documento, entre otros datos. Existen bases multidisciplinarias, como el Science Citation Index y Pascal, y de disciplinas específicas, como Medline o Chemical Abstracts.

La selección de las revistas que son indexadas en esas bases de datos se realiza con fuertes criterios de calidad editorial (reconocimiento del comité editor, calidad académica de los encargados del referato, etc), opiniones de expertos y análisis de las citas recibidas por las revistas como una muestra de su visibilidad. Esa selección también debe garantizar una correcta cobertura de los temas que la base de datos pretende cubrir. En el caso de las bases internacionales se busca cubrir la corriente principal (mainstream) de la ciencia internacional.

Tradicionalmente, existen dos tipos distintos de indicadores bibliométricos: los de actividad y los de relación, utilizando ambos las mismas fuentes ya mencionadas. Los indicadores de actividad o producción científica miden el volumen y el impacto de los conocimientos generados, suponiendo distinciones disciplinares, temáticas o institucionales demarcadas de antemano y de carácter relativamente estable.

Los indicadores de relación, en cambio, buscan rastrear y cuantificar los lazos entre investigadores, instituciones, países y disciplinas intentando describir la dinámica de las actividades y su evolución. En este caso las fronteras disciplinares e institucionales son vistas con un carácter dinámico y de cambio constante que es necesario rastrear a lo largo de los estudios.

El indicador más simple es el cómputo directo de las publicaciones registradas para un país, institución o investigador. La capacidad de los indicadores bibliométricos de abordar estos heterogéneos niveles de agregación con una misma metodología es uno de sus mayores fuertes. Además, la posibilidad de contar con series históricas de hasta incluso varias décadas le aporta una mayor riqueza a la información permitiendo observar el dinamismo del país o la institución estudiada según el número de publicaciones que registra a lo largo de los años crece, decrece o se estanca.

Una de las desagregaciones más frecuentes de los indicadores de producción científica es la de los distintos campos disciplinares. El indicador más frecuente a nivel de países se denomina Índice de Especialización, señalando la distribución de las publicaciones de acuerdo a su disciplina. En este caso, sin embargo, las comparaciones entre los diferentes campos deben ser analizadas con algunos reparos, ya que cada una posee distintos patrones de publicación y citación.

El otro grupo principal de los indicadores bibliométricos de actividad es el relacionado con el cómputo de citas. En este caso se contabilizan las referencias que los investigadores hacen en sus publicaciones a otros artículos ya publicados. La cantidad de citas recibidas por un artículo puede mostrar su visibilidad en un campo, desde el momento en que otros investigadores vean como necesario hacer referencia a él, así como el impacto que ha tenido su aparición en el terreno científico. Sin embargo, es necesario señalar que una gran cantidad de citas no da pautas de la calidad de artículo publicado, ya que las referencias hechas a él pueden ser tanto para ponderarlo como para criticarlo.

El indicador más frecuente en esta familia es el factor de impacto de las revistas, principalmente en el SCI, que cuenta con una base de datos específica con esta información: el Journal Citation Reports. El factor de impacto se calcula según el número de artículos publicados en un año, en relación con las citas que han recibido esos mismos artículos en los dos años siguientes a su publicación. Se utiliza como referencia del impacto científico de las revistas y luego se traslada el valor a los artículos en ellas publicados (método que no permite dar cuenta del impacto específico de cada documento registrado). El factor de impacto varía enormemente entre los distintos campos científicos, ya que en algunas áreas, como Matemáticas, el proceso de citación a los artículos se prolonga en el tiempo mucho más que en el caso de Ciencias de la Vida, por lo que el FI de las primeras será, en general, más bajo.

Por otra parte, los indicadores de relaciones aprovechan la información aportado por los distintos autores que firman de manera conjunta un artículo y la pertenencia institucional que consignan (afiliación). De esta manera se puede observar si un artículo es el producto de la colaboración entre varias instituciones, sectores (por ejemplo universidad y empresa) o países. La forma más habitual de construir estos indicadores es computar los artículos publicados en colaboración una vez para cada uno de los firmantes (un artículo firmado por A y B suma 1 al total de A y 1 al total de B), aunque en algunos casos se hacen conteos fraccionados (un artículo firmado por A y B suma $\frac{1}{2}$ publicación al total de A y $\frac{1}{2}$ publicación al total de B).

Un tratamiento similar puede aplicarse a las referencias bibliográficas, armando redes de citas entre instituciones o países. De esta manera puede confeccionarse un trazado de la red de investigación en las que se inscriben los investigadores de las distintas áreas temáticas.

Actualmente, la disponibilidad cada vez mayor de bases de datos digitales y de herramientas informáticas que permiten su procesamiento está abriendo camino a un nuevo tipo de indicadores relacionados. Estas nuevas técnicas permiten actuar por primera vez sobre el texto completo de los artículos, buscando analizar el significado de sus contenidos. El método más difundido es el de la aparición conjunta de palabras o co-ocurrencia, que apunta a dar inicios del significado real de los textos.

El resultado de estos estudios es la confección de mapas de relaciones conceptuales dentro de un campo determinado, que aportan datos no sólo sobre cuánto se publica sino también sobre qué temas son abordados con un altísimo nivel de detalle. Este tipo de técnicas pueden ser también aplicadas a los investigadores y las instituciones, ofreciendo redes de los agentes del sistema científico y sus relaciones.

Sin embargo, los indicadores bibliométricos tienen ciertas limitaciones como método de medición de la producción científica. En primer lugar, la investigación tiene diversos aspectos que no pueden ser captados por los estudios bibliométricos. La investigación incluye, además de la científica básica expresada en la publicación de resultados, tareas de carácter tecnológico, docente y social. La bibliometría solo puede abordar la faceta científica, mientras que el resto de las actividades deben ser estudiadas por otro tipo de indicadores (Bordons, 2001).

Por otra parte, no existen bases bibliográficas capaces de cubrir la totalidad de la producción científica de un país. Como ya se mencionó, en general estas

fuentes intentan representar la corriente principal internacional de la ciencia, mediante la selección de las revistas más representativas de cada tema para la comunidad de los investigadores, principalmente pertenecientes a los países centrales. Esto implica que los temas que interesan a esa corriente principal se verán representados, mientras que otros casi no aparecerán. Este fenómeno afecta fuertemente a los países latinoamericanos, cuyos temas de investigación, en algunas disciplinas más que en otras, pueden divergir de aquellos estudiados en los países más desarrollados.

La posibilidad de contar con bases bibliográficas con una mejor cobertura de América Latina permitiría apreciar con mejor detalle y precisión los resultados de la investigación local. Algunas iniciativas regionales apuntan a remediar esta situación, como la base de ciencias médicas LILACS, de BIREME, las bases CLASE y PERIODICA de la UNAM. También los emprendimientos SCIELO y LATINDEX ofrecen perspectivas alentadoras.

Existen otras críticas a la aplicación de los indicadores bibliométricos, algunas de ellas son de carácter técnico y otras de carácter conceptual. Entre los problemas técnicos relacionados con las características de las bases de datos bibliográficas puede mencionarse que la función original para la que fueron creadas las bases de datos fue la búsqueda de información, apuntando a la obtención de los artículos registrados, y no a la utilización de los datos para la obtención de información estadística. Como resultado, usualmente se carece de normalización en los campos de instituciones y autores, entre otros, ya que las bases de datos registran la información tal cual los autores la consignan en sus publicaciones. El caso se agrava aún más en la información sobre autoría del los artículos, ya que solo se registra el apellido y las iniciales de los firmantes.

Otro punto que resulta necesario señalar es la asignación de las disciplinas a las que pertenecen las publicaciones. En la mayoría de las bases de datos bibliográficas se asigna uno o varios campos científicos a las revistas, y luego se asigna esa categoría a todos los documentos publicados en ellas, por lo que la asignación no siempre es del todo fidedigna. Asimismo, estas fuentes de información no cuentan con campos con los que resultaría interesante contar para la construcción de indicadores, como por ejemplo el tipo de institución al que pertenecen los autores (universidades, institutos públicos o sector privado) o el género de los autores.

Por otro lado, las críticas conceptuales se centran en dos categorías principales: el significado real de los recuentos de publicaciones y lo que implica la suma de documentos como unidades métricas del conocimiento (Maltrás, 2003).

La primer categoría supone que contar documentos supone ignorar el contenido de cada uno de ellos, cometer la injusticia de confundir cantidad con calidad o la de valorar por igual a todas las publicaciones sin entrar en la consideración de los méritos o en los impactos de cada una. La segunda sostiene que el documento es sólo un vehículo del conocimiento, que es de naturaleza intangible, y que los indicadores bibliométricos pueden dar pauta del flujo de información y no del conocimiento. Mucha información no implica mucho conocimiento y viceversa.

La respuesta reside, una vez más, en los mecanismos del sistema de publicación, específicamente en el sistema de control de las publicaciones por parte de la comunidad científica. La evaluación de pares -celosamente custodiada ya que se

trata de un eje central en el mecanismo de distribución del reconocimiento y, mediante éste del papel de cada investigador en relación a los demás en una sociedad estratificada- garantiza en todos los trabajos publicados un mínimo de originalidad y relevancia.

Esto da también respuesta a las críticas al significado de los recuentos, ya que si se toma a cada publicación como una “unidad de conocimiento”, en el sentido de que posee originalidad y relevancia, la suma de esas unidades puede ser tomada como la producción científica total del agente de investigación observado. Sin embargo, aunque se garantiza originalidad y relevancia, nada puede afirmarse con respecto a la calidad y el impacto de esas unidades contenidas en los documentos científicos.

Resumiendo esta discusión, es necesario aceptar la parcialidad del contenido de los recuentos de publicaciones científicas, situando la necesidad (y la posibilidad) de distinguir entre la cantidad y la calidad de los resultados. Los recuentos de publicaciones pueden servir de base para medir la cantidad de los resultados, y esto implica admitir que esta otra dimensión que no miden: la calidad.

2.2.4. Indicadores de patentes como aproximación al desarrollo tecnológico

El Manual de Patentes de la OCDE, editado en 1994, ofrece un marco conceptual y metodológico para la construcción de indicadores a partir de los documentos de patentes, asumiendo que mediante estas es posible dar cuenta de la actividad tecnológica. El enfoque del manual sólo alcanza a las patentes de invención industrial, dejando fuera otras formas de propiedad intelectual como marcas, diseños o modelos. Dado que la novedad es un requisito básico para la obtención de una patente de invención, las estadísticas generadas a partir de la información disponible en las oficinas de patentes permiten observar las tendencias del cambio tecnológico (OCDE, 1994).

La fortaleza de los documentos de patente reside en que se encuentra a mitad de camino entre la producción de conocimiento contenida en las publicaciones científicas y los procesos de innovación que llevan un nuevo producto o proceso al mercado. Si bien las patentes son un fuente privilegiada para la medición de los resultados tecnológicos, es necesario considerar que no todas las patentes son el resultado de un esfuerzo en I+D, así como que muchos productos de la investigación y el desarrollo no son patentados, debido a particularidades de las empresas o de sectores económicos específicos. Por otra parte, no todas las patentes dan lugar a la innovación, ya que eso implica la llegada del invento al mercado, lo que no necesariamente sucede.

El registro de las invenciones mediante patentes industriales tiene la doble función de divulgar y proteger. El objetivo por parte del Estado es fomentar la invención ofreciendo un monopolio temporal al inventor, a cambio de que haga conocer con precisión las características del invento, que quedará disponible luego del período de protección de la patente.

Esto abre un amplio abanico de estrategias para las empresas o personas que realizan una invención, que varían fuertemente de acuerdo con las características

de los sectores industriales. En algunos casos, la complejidad de una técnica dominada por la empresa y de difícil adopción por parte de la competencia hace que la protección no sea considerada como una estrategia necesaria. En otros casos, la temporalidad de la protección puede ser vista como una limitación por parte del inventor, por lo que se puede optar por el secreto industrial, que si bien puede ser complejo de mantener, no tiene límites de tiempo.

Por otra parte, en algunos sectores en los que la velocidad de renovación de los productos es muy rápida, la demora en el trámite de obtención de la patente -que puede llegar a los cuatro o cinco años, dependiendo de la oficina en que se deposite- puede quitarle atractivo, ya que al momento del otorgamiento el producto patentado ya puede ser obsoleto. Finalmente, en el caso de las empresas más pequeñas, los costos asociados al registro de una patente en varios países puede implicar un costo significativo que resulta limitante del registro de invenciones. Por todos estos motivos, las patentes representan una parte importante -en cuanto a importancia y expectativas de rédito económico- pero no la totalidad de la actividad inventiva.

De la misma manera que la evaluación de pares funciona como garantía de novedad y calidad en el ámbito del círculo de publicación de la ciencia, el proceso de otorgamiento de una patente garantiza la novedad en la invención protegida. Para ello, los examinadores de la oficina que evalúa la presentación realizan una exhaustiva revisión del estado del arte en la materia, que pueden implicar modificaciones a los límites de las reivindicaciones de aquello que se pretende proteger. Por otra parte, los examinadores deben verificar que la descripción presentada en el documento de solicitud sea lo suficientemente detallada y precisa como para que un experto en el campo de la invención sea capaz de reproducirla con la sola lectura de la patente.

Estas características constituyen a las patentes en un fuente de información central para observar los resultados del sistema de ciencia, tecnología e innovación. Ese potencial puede resumirse en que las patentes no dan una imagen de la innovación, sino que permiten el acceso a nuevas técnicas que la industria adopta y moviliza en un momento determinado. Por consiguiente, deben ser consideradas como indicadores de la existencia y de la transformación de las capacidades técnicas, en los sectores en que la protección no puede ser en general obtenida por otras vías (Callon, 1995).

Una fortaleza de los documentos de patente a la hora de construir indicadores es que su estructura está normalizada a nivel mundial. Ya que es indispensable en términos legales, la identidad del registrante es muy precisa y detallada, incluyendo su país de residencia. Esta información, combinada con el país en el que se registra la protección permite construir indicadores desagregados según residentes y no residentes de un país. Es sin embargo importante considerar que, con el fin de ocultar las verdaderas estrategias de una empresa y dificultando su seguimiento por parte de la competencia, muchas veces las patentes son registradas a nombre de subsidiarias de la empresa principal, por lo que obtener el verdadero volumen de patentamiento de una empresa es una tarea compleja.

La situación temporal de las patentes tiene también matices, dado que el documento posee diversas etapas que quedan registradas. Además de la fecha de presentación, se cuenta con la fecha de prioridad si es que trata de una patente ya presentada anteriormente en otro país dentro del tiempo establecido para

hacerlo. Finalmente se cuenta con la fecha de publicación y de otorgamiento, si la solicitud fue aceptada por la oficina.

Las fechas más utilizadas son las de presentación o solicitud y la de otorgamiento, siendo útiles para diferentes enfoques en la construcción de indicadores. Por ejemplo, el manejo de las fechas de solicitud ofrece una mejor aproximación temporal a la fecha del invento, eliminando la distorsión generada por los tiempos variables que toma la oficina en examinar la presentación.

La cantidad de información contenida en los documentos de patentes es inmensa. Por ese motivo, es necesario que la información sea accesible y, en la práctica, esa accesibilidad sólo es posible mediante una clasificación detallada de los documentos según el área según el área tecnológica de aplicación particular.

Esa clasificación está dada por el IPC (International Patent Classification), que en su edición actual distribuye las patentes en uno, o varios, de los 70.000 campos tecnológicos que define. La asignación del código IPC es dado por el examinador de la patente, es decir por el técnico especialista asignado por la oficina de propiedad intelectual que otorga la patente, de acuerdo con el campo de aplicación del invento. Dado el avance constante de la tecnología y la aparición de nuevos campos, el IPC es constantemente revisado, por lo que regularmente se publican nuevas ediciones. La actual, octava edición, entro en vigencia en enero de 2006.

Otra fortaleza de la información contenida en los documentos de patentes reside en la disponibilidad de series largas a partir de las oficinas nacionales de patentes, los amplios detalles contenidos en los documentos sobre los inventos y quienes los presentan, y la cada vez mayor informatización de los datos, facilitando el acceso y la manipulación de las patentes. Es necesario señalar, sin embargo, que la comparación internacional puede dificultarse por diferencias en las legislaciones nacionales, en el funcionamiento de las oficinas de registro, en las estrategias empresariales y debido a características sectoriales.

La medición de la actividad tecnológica a partir de esta fuente puede realizarse a partir de las solicitudes o el otorgamiento de las patentes. Otra distinción importante es la de la procedencia del inventor o del titular, distinguiendo las presentaciones y patentes otorgadas tanto a residentes como a no residentes. Cada enfoque aporta información sobre fenómenos distintos, por un lado la actividad tecnológica local, mediante las patentes presentadas y otorgadas a residentes, y el interés que despierta el mercado local para las empresas del exterior, mediante las patentes presentadas y otorgadas a extranjeros. Las presentaciones en el exterior dan cuenta del interés de las firmas locales por proteger sus inventos en el exterior, lo que señalaría su intención de comercializar sus productos en esos mercados. A su vez la residencia del inventor, puede dar cuenta de flujos internacionales de conocimientos (OCDE, 1994).

Los indicadores recomendados por la OCDE incluyen:

- Indicadores de actividad tecnológica
- Patentes por tipo de inventor
- Patentes por campo tecnológico
- Indicadores de patentamiento por país

- Patentes por región
- Patentes por campo tecnológico
- Indicadores de vinculación ciencia – tecnología
- Citación de patentes anteriores
- Citación de publicaciones científicas

Más allá de las recomendaciones metodológicas y de indicadores propuestos en el manual, es importante tener en cuenta las particularidades de la utilización de la información de patentes en los países en desarrollo. Existen dos enfoques posibles para la explotación de la información de patentes y cada uno de ellos utiliza diferentes fuentes de información.

Por un lado es interesante observar la evolución del patentamiento en el propio país. En ese caso es interesante contar con las mencionadas distinciones entre residentes y no residentes, así como los niveles de actividad en áreas determinadas o las invenciones presentadas por ciertas empresas de punta en cada temática. Para este tipo de enfoque la única fuente de información primaria posible es la oficina de registro de cada país, en el caso argentino el Instituto Nacional de la Propiedad Industrial (INPI).

El otro enfoque posible para la explotación de bases de datos de patentes es el de la comparación internacional, el monitoreo de la actividad de inventores y empresas nacionales en el exterior, así como el seguimiento de la evolución de frentes tecnológicos a nivel mundial. Están disponibles por ejemplo, de forma gratuita y abierta, las bases de datos de la oficina estadounidense de patentes y de la oficina europea, que recopilan la mayor parte de las patentes otorgadas en los países desarrollados. Estas fuentes, sin embargo, presentan ciertas dificultades para el procesamiento de grupos agregados, de cara a la construcción de indicadores.

Por otro lado, existen bases de datos comerciales, que si bien proveen de la misma información disponible en las diferentes oficinas nacionales o regionales, evitan al usuario la recopilación de los datos en cada una de las fuentes. Además, aportan distintas herramientas de procesamiento y análisis que permiten una rápida y eficiente explotación de los documentos contenidos en las bases de datos. Las más difundidas a nivel internacional son las bases de datos Derwent y Delphion, comercializadas por la empresa norteamericana Thomson.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que las patentes suelen jugar un rol importante en las estrategias comerciales de las empresas, por lo que su capacidad para reflejar el desarrollo tecnológico no es tan directa como en el caso de las publicaciones científicas con respecto a la investigación. Esto hace que la interpretación de los indicadores de patentes requiera un cuidado especial.

Más allá de las diferencias en las legislaciones nacionales y en la dinámica y eficiencia de cada oficina de patentes, factores que tienen un impacto importante en la cantidad y calidad de las patentes que se otorgan, las estrategias de la propiedad intelectual de las empresas pueden variar. Así, de acuerdo al producto de que se trate y las características de la legislación y el mercado, muchos inventos pueden ser protegidos por el secreto industrial y no patentarse.

Al mismo tiempo, tomar a las patentes como un indicador cercano a la innovación es aún más arriesgado. Muchas veces, en industrias como la farmacéutica, un producto puede ser patentado como un impedimento para el desarrollo de ciertas técnicas por parte de competidores y sin el deseo de llevar la invención al mercado. Todos estos factores deben ser cuidadosamente contemplados ante la interpretación de los indicadores de patentes.

2.2.5. Indicadores de innovación. El foco en la demanda de conocimiento

En el marco de la creciente importancia del conocimiento en la sociedad, descrita anteriormente, el impacto de este fenómeno en el sector productivo se da mayormente a través de los procesos de innovación. La innovación, en el sentido en que es entendida en el ámbito de la información científica, es la introducción de un nuevo, o significativamente mejorado, producto (bien o servicio), de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo, en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores (OCDE, 2006). De esta definición se desprenden dos aspectos básicos de la innovación, tal como es tomada en las normas internacionales para su medición. Por un lado, es un proceso que se da en el seno de las empresas y, por el otro, implica la efectiva introducción de un cambio (aplicación de conocimiento) y por lo tanto su llegada al mercado.

La atención sobre los procesos de innovación surge en los años '80, a partir de la revisión de la teoría de la innovación formulada a comienzos de siglo por Joseph Schumpeter, como parte de la búsqueda de nuevos marcos conceptuales que permitieran orientar la reestructuración económica y el fortalecimiento de la competitividad. Este autor afirmaba que el desarrollo económico está movido por la innovación, por medio de un proceso dinámico en el cual nuevas tecnologías sustituyen a las antiguas: la “destrucción creativa”. Según él, las innovaciones “radicales” originan los grandes cambios del mundo mientras que las innovaciones “progresivas” alimentan de manera continua el proceso de cambio (Schumpeter, 1912). Schumpeter propuso una lista de cinco tipos de innovación:

- Introducción de nuevos productos
- Introducción de nuevos métodos de producción
- Apertura de nuevos mercados
- Desarrollo de nuevas fuentes de suministro de materias primas u otros insumos
- Creación de nuevas estructuras de mercado en un sector de actividad

Esta nueva mirada sobre los procesos de innovación dio lugar a avances teóricos, como las teorías evolutivas y las corrientes sistémicas de la innovación. La corriente evolutiva trata de establecer cierta similitud entre la evolución de los negocios y la de los organismos vivos; en ambos casos, sólo aquellos que se adaptan con flexibilidad a las condiciones cambiantes del entorno son capaces

de sobrevivir y desarrollarse. En el mundo de los negocios dicha capacidad de adaptación viene claramente determinada por la innovación. Para los teóricos evolutivos, la innovación es pues, el principal motor de crecimiento (Nelson y Winter, 1982).

En ese sentido las aproximaciones evolucionistas ven la innovación como un proceso dependiente de la trayectoria en la que el conocimiento y la tecnología son desarrollados a través de las interacciones entre los diversos agentes y otros diferentes factores. La estructura de estas interacciones influye sobre la trayectoria futura del cambio económico. Por ejemplo, la demanda del mercado y las oportunidades de comercialización influyen sobre qué tipos de productos se desarrollan y qué tipos de tecnologías tienen éxito (OCDE, 2006).

La corriente sistémica, aparecida principios de los noventa, está estrechamente relacionada con el enfoque evolucionista. Estos planteos estudian la influencia de las instituciones externas, definidas en sentido amplio, sobre las actividades innovadoras de las empresas y de los otros agentes. Acentúa la importancia de la transferencia y de la difusión de las ideas, de la experiencia, del conocimiento, de la información y de otros muchos elementos (Lundvall, 1992 y Nelson, 1993).

De esa manera, dentro de los sistemas de innovación, la información circula a través de canales y redes que se imbrican en un marco social, político y cultural que guía y delimita las actividades y la capacidad de innovación. La innovación es vista como un proceso dinámico en el que el conocimiento se acumula mediante el aprendizaje y las interacciones (OCDE, 2006).

De esta manera, la visión de la innovación como sistema desplaza el enfoque de las políticas hacia las interacciones entre las instituciones, buscando examinar los procesos interactivos que intervienen en la creación del conocimiento, y en su difusión y uso. Esto acentúa la importancia de las condiciones, las normativas y las políticas dentro de las cuales se inscribe el funcionamiento de los mercados y por lo tanto el papel de los gobiernos en la supervisión y el ajuste de este marco general.

Este concepto se amplía con el desarrollado por Paul David y Dominique Foray (2002) relativo a la capacidad de distribución de conocimientos del sistema. En su trabajo ponen de manifiesto que tanto o más importante que la capacidad de creación de conocimiento de un Sistema Nacional de Innovación es la capacidad de poner dicho conocimiento de forma rápida y adecuada en manos de los que tienen posibilidad de transformarlo en nuevos bienes y servicios, esto es, en manos de las empresas.

Resaltan dos aspectos en definición de innovación definida por la OCDE en el Manual de Oslo: novedad y aplicación. De este modo, una invención o idea creativa no se convierte en innovación hasta que no se utiliza para cubrir una necesidad concreta. Esta aplicación de la idea supone un proceso de cambio que podríamos considerar microeconómico.

Sin embargo, el cambio tiene también una importante componente macroeconómica, ya que el objetivo principal es el de convertir esas mejoras empresariales individuales en mejoras o cambios globales para la sociedad y, para ello, es esencial que se dé difusión a la innovación. Se pueden distinguir tres momentos o estados fundamentales en todo proceso de cambio (OCDE, 2006):

- La invención, como creación de una idea potencialmente generadora de beneficios comerciales, pero no necesariamente realizada de forma concreta en productos, procesos o servicios
- La innovación, consistente en la aplicación comercial de una idea. Para el propósito de este estudio, innovar es convertir ideas en productos, procesos o servicios nuevos o mejorados que el mercado valora. Se trata de un hecho fundamentalmente económico que, incrementa la capacidad de creación de riqueza de la empresa y, además, tiene fuertes implicaciones sociales. Esta definición debe ser entendida en un sentido amplio, pues cubre todo el espectro de actividades de la empresa que presuponen un cambio substancial en la forma de hacer las cosas, tanto en lo que se refiere a los productos y servicios que ella ofrece, como a las formas en que los produce, comercializa u organiza
- La difusión, que supone dar a conocer a la sociedad la utilidad de una innovación. Este es el momento en el que un país percibe realmente los beneficios de la innovación

El desarrollo económico depende en gran medida de la capacidad de las empresas, y de la sociedad en general, para realizar estas tres actividades. Asimismo, los recursos y habilidades que precisan también son diferentes, ya que la innovación demanda más recursos que la invención, pero no es necesario que el innovador haya realizado previamente la invención, sino que puede tomar y adaptar una realizada por otro. La difusión, por su parte, es más crítica que la innovación, puesto que es el requisito imprescindible para que la sociedad reciba los beneficios de ésta.

Sin embargo, para que la difusión tenga efectos sobre la economía es necesario haber efectuado el paso previo de la innovación. Por este motivo, la innovación es el elemento que se considera más a fondo en los estudios de cambio, hasta el punto que, muy a menudo, se utilizan indistintamente los términos innovación y cambio.

El cambio en una empresa puede darse a través de innovaciones que se producen por primera vez en la sociedad o a través de innovaciones que han surgido en otro entorno y que la empresa asimila en sus prácticas por primera vez. Esta es la razón por la que existe un doble punto de vista a la hora de identificar y valorar las innovaciones: las que son nuevas para la sociedad y las que son nuevas para la organización que las realiza.

Si bien las primeras tienen más mérito, y son las que suelen dar más beneficios, no es menos cierto que las segundas también requieren un cierto esfuerzo, debido al grado de incertidumbre que imponen a la organización, y también proporcionan importantes beneficios. Por ello, es importante la revisión continua de innovaciones introducidas en otros entornos para poder aprovecharlas lo antes posible, dependiendo del nivel de incertidumbre que la organización sea capaz de aceptar.

Otra clasificación habitual (OCDE, 2006) y que guarda fuerte relación con el concepto schumpeteriano de “destrucción creativa”, tiene que ver con el grado de novedad en la innovación, siendo posible dividir las actividades en:

- *Innovación incremental*: Se trata de pequeños cambios dirigidos a incrementar la funcionalidad y las prestaciones de la empresa que, si bien aisladamente son poco significativas, cuando se suceden continuamente de forma acumulativa pueden constituir una base permanente de progreso
- *Innovación radical*: Son innovaciones que crean nuevos productos o procesos que no pueden entenderse como una evolución natural de los ya existentes. Aunque no se distribuyen uniformemente en el tiempo como las innovaciones incrementales, sí surgen con cierta frecuencia. Se trata de situaciones en las que la utilización de un principio científico nuevo provoca la ruptura real con las tecnologías anteriores

Además de un cambio en la observación conceptual de la innovación, se registró también un nuevo enfoque con respecto a las dinámicas del proceso de innovación, en oposición al modelo lineal anteriormente descrito, que ve la innovación y la difusión como el resultado de la invención, que a su vez es producto de la investigación. En este modelo, la medición de los procesos de innovación se realiza principalmente en los insumos de la investigación y el desarrollo y mediante las patentes industriales, como reflejo de la actividad inventiva.

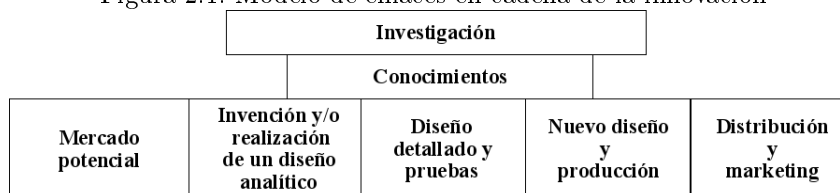
Las críticas al modelo lineal pueden agruparse en tres aspectos principales. En primer lugar, considera el proceso de innovación como una sucesión de distintas etapas, en las que no existen interacciones entre los diferentes puntos que dan como resultado la difusión de nuevos productos o procesos. Esta representación no parece dar cuenta de la dinámica de los procesos de innovación, sobre todo a partir del crecimiento japonés y de los países del sudeste asiático.

En segundo lugar, y siguiendo el mismo razonamiento, da demasiada importancia a la I+D en relación con otras actividades que dan como resultado la innovación, como por ejemplo la incorporación de conocimiento existente o el desarrollo a partir de la copia y la ingeniería inversa. Finalmente, el modelo lineal no puede explicar algunos aspectos de la economía. Por ejemplo, que a pesar del incremento en los recursos en I+D, desde mediados de los setenta se registró una desaceleración e inestabilidad generalizada en el crecimiento económico de la mayoría de los países más desarrollados, por lo que la atribución lineal del desarrollo económico a la investigación fue puesto entre paréntesis.

Mientras que el modelo de insumo-producto del Manual de Frascati centraba su atención en la oferta de conocimiento científico y tecnológico, visto como un factor clave para el desarrollo económico y social, el modelo de los indicadores de innovación se centra en la medición de la demanda. Este nuevo modelo, que tiene en cuenta otras actividades innovadoras, más allá de la I+D, puede verse como un sistema de enlaces en cadena, que considera a las actividades del proceso de innovación como un sistema de relaciones. Se trata de un modelo en el que la innovación surge de una serie de actividades relacionadas las unas con las otras, y cuyos resultados son con frecuencia inciertos. A causa de esta incertidumbre no hay progresión lineal entre las actividades del proceso y con frecuencia es necesario volver a fases anteriores para resolver problemas de puesta a punto, de tal forma que en cada etapa es posible volver a otra etapa anterior (Kline y Rosenberg, 1986).

En este modelo, un factor decisivo para el éxito o fracaso de las actividades innovadoras es la capacidad de la empresa en mantener los enlaces entre las

Figura 2.1: Modelo de enlaces en cadena de la innovación



distintas fases del proceso de innovación. Por otra parte, la I+D no es una fuente de invenciones sino una herramienta utilizada para resolver problemas en cualquier fase del proceso.

La empresa dispone de una base de conocimientos a la que acudir para resolver los problemas que se plantean al innovar, ya sea información disponible o generada por investigación demandada a tal efecto. La I+D aborda los problemas que no pueden resolverse con los conocimientos existentes para así ampliar la base de conocimientos. De esta manera, y a diferencia del modelo lineal, la I+D no es una condición previa para innovar, sino que se agrega a ella en cualquier fase del proyecto.

En este enfoque, la innovación es una actividad compleja y diversificada, que engloba numerosas fases en interacción. Por lo tanto, aparece la necesidad de obtener nuevas fuentes de información capaces de captar las particularidades de los fenómenos así descritos. Como consecuencia de esto aparecen los indicadores de innovación, que serán además de carácter retrospectivo, es decir que buscarán las condiciones que llevaron al éxito o al fracaso de las actividades innovadoras luego de que estas se llevaran a cabo.

En este contexto, medir los procesos de innovación resulta importante para los gobiernos, que requieren de información para el diseño y evaluación de las políticas destinadas a fortalecer los sistemas nacionales de innovación. El impulso de las actividades de innovación es muy importante para lograr un desarrollo económico sostenible, particularmente en los países en desarrollo, dado que a nivel agregado, la innovación tecnológica y la diferenciación de productos es el camino para que una economía pueda sostener un incremento sistemático de los salarios, sin afectar negativamente sus niveles de competitividad. Es, también, la fórmula más prometedora en relación con la posibilidad de evitar el deterioro de los términos de intercambio y los desequilibrios del sector externo que caracterizan a las economías latinoamericanas. Puede, asimismo, incidir en un mejor aprovechamiento de los recursos naturales, favoreciendo su transformación doméstica en bienes de mayor contenido tecnológico (RICYT, 2001).

Por otra parte, la información sobre los procesos de innovación resulta muy valiosa para las empresas, que requieren datos en base a los cuales tomar decisiones sobre su conducta tecnológica. Más aún, considerando que la innovación implica riesgos económicos considerables, pero también ganancias importantes en los casos exitosos. Por este motivo, la demanda de información no es sólo cuantitativa sino también sobre aspectos cualitativos de los procesos de innovación, facilitando la necesaria información sobre los senderos de desarrollo de cara a la formulación de políticas adecuadas tanto a nivel empresarial como de gobierno.

La normalización internacional de los indicadores de innovación fue encarada desde un primer momento por la OCDE, que en 1992 plasmó las intensas discusiones de los años '80 sobre el tema en la primera edición del Manual de Oslo. En la actualidad se cuenta ya con la tercera revisión del manual, publicada en 2005, dónde se precisan las características que deben tener los procesos de innovación que se busca medir.

Para que haya innovación, hace falta como mínimo que el producto, el proceso, el método de comercialización o el método de organización sean nuevos (o significativamente mejorados) para la empresa. Este concepto engloba los productos, los procesos y los métodos que las empresas son las primeras en desarrollar y aquellos que han adoptado de otras empresas u organizaciones. Por otra parte, las actividades de innovación incluyen a las de I+D que no están directamente vinculadas a la introducción de una innovación particular. Por último, una característica común a todos los tipos de innovación es que deben haber sido introducidos, es decir, que ha sido lanzado al mercado (OCDE, 2006).

Asimismo, el Manual distingue cuatro tipos de innovación. En primer lugar, la innovación de producto, que se corresponde con la introducción de un bien o de un servicio nuevo, o significativamente mejorado, en cuanto a sus características o en cuanto al uso al que se destina. Esta definición incluye la mejora significativa de las características técnicas, de los componentes y los materiales, de la informática integrada, de la facilidad de uso u otras características funcionales. El segundo tipo es el de la innovación de proceso, definida como la introducción de un nuevo, o significativamente mejorado, proceso de producción o de distribución. Ello implica cambios significativos en las técnicas, los materiales o los programas informáticos.

El tercer tipo es el de la innovación de mercadotecnia, que incluye la aplicación de un nuevo método de comercialización que implique cambios significativos del diseño o el envasado de un producto, su posicionamiento o su promoción. Este tipo de innovación busca satisfacer mejor las necesidades de los consumidores, de abrir nuevos mercados o de posicionar en el mercado de una nueva manera un producto de la empresa con el fin de aumentar las ventas.

Por último, el Manual incluye también a la “innovación de organización, que consiste en la introducción de un nuevo método organizativo en las prácticas, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores de la empresa. Estas pueden tener por objeto mejorar los resultados de una empresa reduciendo los costes administrativos o de transacción, mejorando el nivel de satisfacción en el trabajo o reduciendo los costes de los suministros” (OCDE, 2006).

A su vez, las desagregaciones propuestas por la última versión del manual incluyen:

- I+D intramuros
- I+D extramuros
- Actividades para la innovación de productos o procesos
- Adquisición de conocimiento externo
- Adquisición de maquinarias, equipamientos y otros bienes de capital

- Preparativos para la innovación de productos o procesos
- Preparativos de mercado para la innovación de productos
- Capacitación
- Actividades para la innovación de mercadeo u organización
- Preparativos para la innovación de mercadeo
- Preparativos para la innovación organizacional

El Manual de Oslo recomienda la construcción de los indicadores de innovación tecnológica mediante encuestas específicas, con una frecuencia ideal de dos años, aunque por cuestiones económicas puede realizarse cada tres o cuatro. Para garantizar la comparabilidad internacional de los resultados, el manual contiene detallados lineamientos sobre los procedimientos de encuesta, abarcando temas como la construcción de muestras, la confección del cuestionario y la estimación de resultados. La adopción de un conjunto de preguntas normalizado entre países dentro del formulario de encuesta facilita la homogeneidad de la información obtenida entre países. Esa opción fue adoptada por los países de la Unión Europea para cada una de sus Community Innovation Survey (CIS), mientras que en el ámbito latinoamericano el Manual de Bogotá de la RICYT propone un formulario común unificado, adoptado por varios países en el contexto regional.

En los países latinoamericanos, sin embargo, no es posible adoptar estas metodologías de manera directa, sobre todo debido a las características particulares de las firmas locales. Por ese motivo, se ha creado un manual específico para la medición de las actividades de innovación en la región, en base al trabajo de la RICYT. Este documento, conocido como el Manual de Bogotá, sostiene que las especificidades existentes a nivel regional, nacional e, incluso, local, que distinguen a las firmas latinoamericanas de sus pares localizadas en los países más desarrollados de la OECD, están relacionadas con las características particulares de sus respectivos Sistemas de Innovación, la conformación de los mercados en que operan, el tamaño y las características de la firma predominante, el grado y carácter de la inserción internacional de la economía (RICYT, 2001).

Esas condiciones particulares se reflejan en los procesos de innovación, que adquieren características diferentes con respecto a los países desarrollados. Estas diferencias pueden resumirse en cuatro puntos centrales. En primer lugar, en el marco de una preferencia generalizada por apoyarse en estructuras organizativas informales para la realización de actividades de innovación tecnológica (ciertamente, en medida mucho mayor a la de los países más desarrollados), se aprecia una promisorio tendencia hacia su consolidación e incluso formalización.

En segundo lugar, que entre las empresas transnacionales se tiende a privilegiar la provisión de tecnología de fuentes exógenas a las firmas; en otros términos, las empresas tienden a abastecerse de conocimiento vía adquisición de bienes de capital, informática, consultorías o licencias y patentes, etc. más que a procurar su generación interna. El abastecimiento exógeno tiende a ser, además, internacional; tal es el caso de la provisión de bienes de capital donde la importación tiende a convertirse en un factor dinámico, particularmente cuando se trata de bienes de capital que incorporan nuevas tecnologías de producto o proceso;

lo mismo ocurre con la provisión de tecnología desincorporada vía patentes o licencias, o en la actividad de las consultoras.

Por otra parte, entre las PYMES, se combina una fuerte apelación a la adquisición de bienes de capital en procura de mejoras tecnológicas, con la realización de esfuerzos endógenos o internos a la firma, pese a las marcadas limitaciones que presentan las empresas de menor tamaño en materia de recursos humanos calificados; estas limitaciones no tienden a ser compensadas suficientemente a través de la búsqueda del aprovechamiento de conocimiento externo disponible en el sistema de innovación local o nacional (otras empresas, universidades, institutos de investigación o agencias estatales).

Finalmente, tanto en las empresas grandes como en las pequeñas y medianas, se aprecia un bajo grado de consolidación de la trama de vinculaciones e interacciones entre la firma y su “entorno”; la debilidad y la desarticulación de los sistemas nacionales y locales de innovación en América Latina es quizás uno de los aspectos principales a tomar en cuenta al analizar las diferencias en la conducta y desempeño de las firmas de la región, con respecto a las de los países de mayor nivel de desarrollo (RICYT, 2001).

2.2.6. Balanza de pagos tecnológicos. El comercio internacional del conocimiento

La balanza de pagos tecnológicos (BPT) es un instrumento encargado de medir la importancia de los ingresos de un país por la exportación de conocimiento técnico y servicios, al tiempo que indica la posición competitiva de un país en el mercado internacional de conocimiento. Persiguiendo estos objetivos, y con el fin de homogeneizar la forma en que estaba siendo realizada la medición, la OCDE produjo el Manual BPT. Con él se avanzó hacia una definición más precisa del contenido de la BPT, de modo de lograr mayor uniformidad en la recopilación y presentación en el ámbito internacional.

En teoría, la BPT se debería limitar a sólo uno de los componentes de los flujos internacionales de tecnología: la transferencia internacional de tecnología, que se diferencia del resto de los flujos tecnológicos por el hecho de incluir conocimientos tecnológicos en posesión exclusiva por parte de una empresa, tanto por la existencia de derechos explícitos sobre dicho conocimiento como por mantenerse en secreto, bajo la forma de activos negociables. Sin embargo, más allá de este criterio teórico, no parece posible limitar las transacciones que capta la BPT a un mero registro de la transferencia de tecnología en sentido estricto, debido a que la oferta de servicios técnicos, aunque no se trata específicamente de una transferencia “pura” de tecnología, está a menudo asociada con acuerdos de transferencia de tecnología; y que los contratos de transferencia son a menudo complejos, lo que dificulta la tarea de determinar cuáles de los gastos/ingresos se refieren a la transferencia y cuáles a sus servicios asociados.

Por tanto, dados estos problemas de carácter empírico, la forma en que se calcula actualmente la BPT, siguiendo los lineamientos del Manual de la OCDE, excede a la transferencia internacional de tecnología. A este respecto, los datos compilados en ella incluyen dos grandes categorías de flujos financieros: a) aquellos

que surgen de transacciones relacionadas a la propiedad industrial (transacciones relacionadas con patentes, licencias, técnicas, procesos y know-how, marcas comerciales, diseños y moldes) y b) aquellos que se originan en la oferta de servicios con contenido tecnológico y servicios intelectuales (estudios de ingeniería, asistencia técnica, contratos de capacitación entre empresas, y gestión, administración o financiamiento de la I+D llevada a cabo en el extranjero). La información que el manual recomienda recopilar incluye, como esencial:

- Tipo de transacción (patentes, licencias, know-how, servicios)
- Suma pagada
- País de la contraparte
- Sector institucional de residente (gobierno, empresas, educación superior, organizaciones privadas sin fines de lucro)
- Actividad industrial del residente (sólo para empresas)
- Relación entre las partes (como por ejemplo empresas subsidiarias)

Como información suplementaria, se recomienda recopilar:

- Fecha y duración del contrato
- Clasificación industrial del producto
- Tamaño de las empresas involucradas
- Acuerdos monetarios y no monetarios para el pago
- Identidad del no residente (sector institucional y actividad industrial)

Los indicadores propuestos en este manual no han tenido una diseminación importante, sobre todo en el caso de los países en desarrollo, por diversos motivos. En primer lugar, estos indicadores sólo son de interés crítico en los países de mayor nivel de industrialización, en los cuales la balanza comercial en materia de productos de alta tecnología está relativamente equilibrada. Por otra parte, la información utilizada para su construcción supone la existencia de sistemas de información avanzados en el registro de los movimientos comerciales internacionales.

Las fuentes de información propuestas en el manual para el relevamiento información que permita construir indicadores de balanza de pagos tecnológicos son de dos tipos; por un lado la información proveniente del organismo encargado de la balanza de pagos general, en el caso argentino la Dirección Nacional de Cuentas Internacionales del INDEC, y por el otro información generada mediante encuestas.

La disponibilidad de información para el cálculo de la Balanza de Pagos Tecnológicos, de ambos tipos, resulta muy limitada en Argentina, como en la mayoría de los países latinoamericanos. Desde el primer enfoque, la información publicada por la Dirección Nacional de Cuentas Internacionales no presenta el nivel

de desagregación necesario, aunque en las últimas ediciones se ha aumentado la clasificación de las partidas, permitiendo explorar la posibilidad de obtener algunas aproximaciones a la balanza de pagos tecnológicos. La obtención de datos más desagregados puede ser compleja, ya que la información surge de los bancos que se encargaron efectivamente de la transacción, por lo que obtener el máximo nivel de detalle puede implicar cambios en las políticas de recolección de información. En cuanto al segundo enfoque posible, orientado a encuestas que contengan información sobre BPT, no existe actualmente ningún relevamiento periódico de estos temas.

2.2.7. Otros desarrollos actuales en indicadores de ciencia y tecnología

Los cambios en la relación entre la ciencia, la tecnología, la sociedad y la política implican también el surgimiento de demandas de información diferentes. Es así como constantemente aparecen nuevos enfoques en la medición de las actividades de ciencia, tecnología e innovación, que buscan convertirse en nuevas herramientas para apuntalar la toma de decisiones.

En la actualidad, nuevas familias de indicadores están surgiendo en la búsqueda de abordar temáticas hasta ahora no cubiertas por los indicadores de ciencia y tecnología comúnmente relevados. A continuación se describen algunas de las líneas de investigación sobre las que se está trabajando a nivel mundial y regional, dando una breve descripción de las temáticas abordadas y de los avances alcanzados hasta el momento.

Sociedad de la información

La reciente revolución en el campo de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) ha abierto un proceso de profundos cambios políticos, culturales y económicos. La marcha de este proceso, conducente hacia la llamada “sociedad de la información”, ha despertado un gran interés en los círculos políticos, empresariales y académicos.

La necesidad de contar con información fidedigna en este campo se ha vuelto un imperativo, por lo que desde distintos abordajes se está avanzando en la construcción de indicadores que den cuenta de este fenómeno. En ese contexto se ha generado un intenso desarrollo conceptual en esta materia en Iberoamérica. El resultado de ese trabajo, llevado adelante en el marco de la RICYT, es el Manual de Lisboa “Pautas para la interpretación de los datos estadísticos disponibles y la construcción de indicadores referidos a la transición Iberoamérica hacia la sociedad de la información”, que recopila definiciones conceptuales y propuestas metodológicas y operativas para la medición cuantitativa de la sociedad de la información (RICYT 2006).

Esta propuesta contiene un marco conceptual que procura un abordaje integral a los procesos relacionados con la sociedad de la información, ofreciendo criterio para una base conceptual común a nivel internacional. En cuanto a los procedimientos para la recolección y análisis de datos, se combinan aproximaciones cuantitativas y cualitativas.

Uno de los aportes más interesantes de la propuesta es su carácter matricial, que por un lado cuenta con cuatro sectores principales abarcados por los fenómenos de la sociedad de la información. Estos son Educación, Ciencia y Tecnología, Informática y Servicios de Alto Valor Agregado, y Telecomunicaciones. Cada uno de estos sectores contiene a su vez una matriz organizada a partir de cuatro ejes temáticos (infraestructura, capacidades, inversiones y esfuerzos acumulativos y aplicaciones), cruzados a su vez por cuatro filas referidas a los actores participantes en estos procesos (empresas, hogares, gobierno, otras instituciones).

De esta manera, el análisis de cada una de las celdas de la matriz puede ser abordada en detalle por grupos de investigación distintos, especializados en cada una de las áreas. Esto le da al manual características de gran flexibilidad y modularidad. En la actualidad se cuenta con fuertes avances en varios componentes de la matriz y se avanza en completar los desarrollos metodológicos faltantes.

Percepción pública de la ciencia y la tecnología

La percepción que la sociedad tiene sobre el desarrollo de la ciencia y la tecnología es un objeto estratégico para las políticas públicas, ya que involucra imágenes, valoraciones y actitudes que el público asume sobre el rumbo y el impacto de la ciencia y la tecnología en ámbitos diversos de la vida cotidiana.

Existe una conciencia pública creciente respecto a la necesidad de intervenir en el rumbo del avance de la ciencia y la tecnología, de manera que estas actividades dependerán cada vez más del grado de apropiación de estos temas y la forma en que se integren a la cultura ciudadana. Este interés nació en los años setenta en los Estados Unidos, en una época caracterizada por crecientes preocupaciones de la sociedad por los resultados, positivos y negativos, del avance científico. En ese marco, desde 1972, la NSF publica los resultados de encuestas sobre esta temática, aunque su enfoque se centra en comprensión pública de la ciencia.

En Europa, en cambio, el interés por el tema resurge a fines de los años ochenta, aunque con un enfoque distinto, orientado más a la percepción de la ciencia que al conocimiento general de que dispone la sociedad. El principal referente de esa región en la materia es el Eurobarómetro, dependiente de la Comisión Europea.

En Iberoamérica, en el marco de la RICYT y con el apoyo de la OEI, se están realizando esfuerzos para mejorar conceptual y metodológicamente los instrumentos que intentan evaluar la percepción de la ciencia en la sociedad. Esta tarea está dando lugar a un manual regional para la medición de este tema.

Los principales aspectos de la medición de la percepción pública de la ciencia y la tecnología son (Polino et al, 2006):

- Determinación de las variables que tratan de ser medidas, reflejando los acuerdos de carácter conceptual
- Elaboración de las preguntas comunes para las encuestas regionales, que faciliten la comparación internacional
- Definición de indicadores que permitan describir o evaluar un fenómeno, su estado y evolución

- Propuesta de los procedimientos adecuados para la medición (entrevistas personales, telefónicas, supervisión, etc.) y los intervalos recomendados en la aplicación periódica de los estudios

Internacionalización de la ciencia

La dimensión internacional en las actividades de investigación científica y desarrollo tecnológico muestra un peso creciente en el escenario mundial. Este proceso se expresa en la movilidad e intercambio de investigadores, las copublicaciones científicas, las alianzas y consorcios tecnológicos, las redes en sus múltiples modalidades, los procesos de transferencia y el comercio de productos de alta tecnología, así como los flujos de financiación de la ciencia y la tecnología.

De esta manera, la internacionalización se percibe como una vía para la mejora de la calidad de las actividades científico-técnicas, la creación y fortalecimiento de capacidades, la proyección de los resultados y la consecución de mayores sinergias en el entramado internacional de dependencias. La incidencia de la dimensión internacional está modificando los patrones de organización y ejecución de la investigación y, por este motivo, se está avanzando en la consolidación de un sistema integrado de indicadores que contemple sus múltiples manifestaciones. Estos esfuerzos se han plasmado en diversos conjuntos de indicadores desarrollados a nivel mundial, como por ejemplo por parte de la OCDE y la NSF. En el ámbito iberoamericano se ha desarrollado recientemente el “Manual de Santiago” de la RICYT, que aborda la internacionalización de la ciencia desde una perspectiva regional (RICYT, 2007).

Las características de los países latinoamericanos han llevado a que el Manual de Santiago tenga un doble enfoque de los procesos de internacionalización de la ciencia y la tecnología. La dimensión internacional se incorpora y expresa, por un lado, al interior de los sistemas de ciencia y tecnología de los países y por otra, las capacidades, resultados y productos fruto de la I+D se proyectan en un espacio internacional. En consecuencia, los indicadores deberán ser de utilidad tanto para conocer el grado de internacionalización de los elementos estructurales, funcionales y relacionales de cada sistema, como para conocer el grado de proyección internacional de sus resultados (Sebastián, 2007).

Esto se diferencia de enfoques mantenidos en los países más desarrollados, donde el interés se centra en la proyección internacional de las actividades científicas y tecnológicas, y no tanto sobre los niveles de influencia y presencia internacional hacia adentro de los sistemas nacionales de ciencia, tecnología e innovación.

El manual propone más de cien indicadores que abarcan tres componentes de los sistemas científicos y tecnológicos:

- Políticas e instrumentos operativos y financieros
- Actividades de I+D
- Resultados y productos de la I+D

2.3. Particularidades de la construcción de indicadores en América Latina

La construcción de indicadores en América Latina está condicionada, como es lógico, por las características generales de la región, tanto en términos políticos como económicos y organizativos. Esta actividad no es una mera cuestión metodológica, sino que los indicadores, para ser efectivos, deben dar cuenta de los procesos que hacen a la actividad científica y tecnológica y requieren una profunda reflexión y conocimiento de los sistemas en que se busca medir (Albornoz, 2001).

Por este motivo, no es posible hacer una transposición directa de las técnicas utilizadas en los países desarrollados a las características de América Latina. En el propio Manual de Frascati (OCDE, 2002) se hace la salvedad de que “(...) se refiere específicamente a la medición de I+D y a las necesidades de los estados miembros de la OCDE, dotados de sistemas económicos y científicos bastante similares, que los distinguen de los estados no miembros (...)”.

La necesidad de información estadística sobre lo que ocurre con el sistema científico y tecnológico resulta en los países de la región de vital importancia dado que, por lo limitado de los recursos disponibles y porque en su mayoría éstos son aportados por el Estado, las decisiones en el ámbito de la política científica deben estar basadas en información confiable para un mejor aprovechamiento de los mismos. A pesar de ello, mientras que la medición de las actividades científicas y tecnológicas es un tema importante en los países desarrollados desde las década del sesenta, en América Latina no se cuenta con una tradición continua la producción de información estadística en esta área.

En principio, es importante señalar también una evolución y trayectoria diferente. En los años setenta, inspirados por los esfuerzos de los países industrializados, que ya contaban con series estadísticas obtenidas en base a la utilización de las nuevas normas internacionales, en Latinoamérica se empezaban a llevar a cabo los primeros intentos de medir las actividades científicas y tecnológicas. Esos primeros intentos, impulsados por OEA y UNESCO, intentaron instalar el modelo exitoso en los países de la OCDE, aunque con resultados muy relativos. Esos primeros esfuerzos estaban basados en enfoques sistémicos y adoptaban una visión derivada de esquemas organizativos de los países desarrollados, bajo la forma de inventarios del potencial científico y tecnológico. Por su carácter contable, propio de los inventarios, tenían el propósito de estimar la disponibilidad general de recursos, pero su difusa concepción general no contribuía a la fijación de políticas nacionales (Albornoz y Martínez, 1998).

Esa falta de reflexión sobre las características propias de los sistemas de ciencia, tecnología e innovación locales dio como resultado indicadores que no tuvieron una plena utilidad en el diagnóstico de los problemas de la ciencia en nuestros países, que no estaban sólo relacionados con la disponibilidad de recursos -humanos y financieros- sino también con las condiciones del entorno y la capacidad de aplicar el conocimiento ya existente. Por ese motivo, durante la década siguiente incluso esas primeras experiencias se interrumpieron.

De esta manera, América Latina no participó en las importantes discusiones que se estaban dando en los países industrializados sobre cómo dar cuenta de

la ciencia y sus impactos en un mundo cada vez más globalizado. Los años ochenta presentaron un fuerte vacío de información, que puede relacionarse, con el desencanto por las políticas de ciencia y tecnología en el marco de la ruptura definitiva del modelo de desarrollo endógeno. La información científica y tecnológica resultó una ausencia más en la “década perdida” (Albornoz y Martínez, 1998).

Este desencanto requería de una discusión importante sobre los indicadores necesarios para la región. Incluso en los países industrializados estaba claro que su modelo de producción de indicadores no era fácilmente transferible a los países en desarrollo. El propio Christopher Freeman, quien tuvo un papel muy importante en el desarrollo de información estadística en la OCDE, cuestionaba la utilidad de estos para los países en desarrollo. En su opinión, para estos países no son tan interesantes los indicadores de I+D, ya que esta tiene poca relevancia para el desarrollo. Más bien deberían tomarse en cuenta los indicadores relativos a los “servicios científicos y tecnológicos”.

Vemos que no se trata de objeciones relacionadas con la disponibilidad de información, o la existencia de unidades estadísticas maduras, sino más bien de un problema de concepción teórica de los fenómenos que se desea observar. En ese mismo sentido, los indicadores creados en los países desarrollados no se adaptarían a la realidad de los países en desarrollo, no tanto porque las fuentes de información sean menos confiables, sino porque el esfuerzo en ciencia y tecnología de estos países no debe ser comparado con el desempeño de los industrializados, sino con el grado de cumplimiento de los fines y objetivos que establezca su propia política de desarrollo (Croucher, 1987).

Era necesario, por tanto, que los países en desarrollo realizaran un esfuerzo importante de reflexión sobre la naturaleza de sus sistemas de ciencia, tecnología e innovación y de las políticas que se necesitaban para el desarrollo económico y social, tal como lo habían realizado los países industrializados. Por ejemplo, las necesidades de América Latina tenían mucho que ver con la incorporación y adaptación de tecnologías existentes, dado que sus capacidades estaban -en términos generales- alejadas de los temas que se discutían en la frontera de la ciencia básica.

La UNCTAD, en un documento de 1991, señala como esas necesidades de los países latinoamericanos deben reflejarse en los indicadores adecuados para la región. En contraposición con la centralidad de la I+D en los indicadores de la OCDE, “(...) en el caso de los países en desarrollo resulta útil adoptar una definición amplia de los elementos de insumo, que incluya, además de las actividades en investigación y desarrollo, la tecnología transferida y el esfuerzo interno en términos de formación de recursos humanos o inversiones en maquinaria y equipo(...)”.

No existía aún, sin embargo, ni una demanda clara desde los tomadores de decisión en política científica, ni un foro de discusión regional adecuado para abordar una reflexión acerca de los rasgos idiosincrásicos de la ciencia en la región y la adecuación a ellos de ciertos indicadores internacionalmente utilizados para establecer comparaciones.

A partir de los años noventa, con la aceleración de procesos de desarrollo a partir de la inversión en ciencia y tecnología en otras regiones del mundo, resurge en

América Latina el interés por las actividades científicas y tecnológicas como un componente central para el desarrollo. En ese marco se hace evidente la necesidad de cuantificar los esfuerzos invertidos y evaluar los resultados obtenidos en esta área, como insumo vital para el diseño y aplicación de las políticas públicas en esta materia.

Es así como, frente a la evidente carencia de información, empezaron a aparecer demandas de los gobiernos regionales con respecto a la necesidad de contar con información comparable entre países, basándose en las normas que tengan en cuenta las características de los países latinoamericanos pero sin dejar de lado las normas internacionales existentes. Apareció entonces la imprescindible demanda de información por parte de los tomadores de decisión, muy insipiente anteriormente, que permitiría un nuevo esfuerzo en el terreno de la medición cuantitativa de las actividades científicas y tecnológicas.

Como respuesta a esa demanda, en 1995 se puso en marcha la Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT), que se convirtió en el foro regional para la discusión de estos temas. Desde entonces, gracias al creciente apoyo de los gobiernos y a la consolidación de una comunidad académica interesada en el tema, el vacío de información se ha revertido en gran medida.

El objetivo principal de la red es la adopción de metodologías homogéneas por parte de países de la región, basadas en las características propias de los países en desarrollo. Una de las primeras decisiones metodológicas adoptadas fue la de cubrir completamente las Actividades Científicas y Tecnológicas (ACT), siguiendo los conceptos del Manual de Estadísticas sobre ACT (UNESCO, 1984). Esta decisión refleja las discusiones anteriormente mencionadas sobre las limitaciones de los indicadores de I+D para las características y demandas de América Latina.

Si bien en la última década se ha contado con un respaldo constante, sostenido por el interés de los gobiernos, y con una intensa discusión orientada a la construcción de indicadores adecuados para la región, quedan aún muchos problemas por solucionar. En buena medida, se trata de abordar la heterogeneidad de los sistemas estadísticos de los distintos países de la región y la discontinuidad del trabajo realizado hasta el momento en los países de menor desarrollo relativo.

En América Latina, casi ningún país ha alcanzado el nivel de complejidad, dinamismo e integración en los sistemas nacionales de información científica y tecnológica de los países desarrollados. Para comprender las dificultades que surgen en la construcción de indicadores de ciencia, tecnología e innovación en los países de América Latina, resulta vital tener un panorama de la conformación, actividades y fuentes de financiamiento de los sistemas de información existentes (Albornoz, 2001).

Los países más grandes de la región cuentan con unidades formales establecidas en sus Organismos Nacionales de Ciencia y Tecnología (ONCYT) y encargadas del relevamiento, procesamiento y difusión de la información científica y tecnológica, mientras que otro grupo de países está realizando esfuerzos para consolidar sus sistemas de información. Sin embargo, existen aún muchos países que se encuentra en etapas anteriores, con distintos niveles de desarrollo. En la mayoría de ellos sólo se cuenta con un funcionario del ONCYT que, entre otras tareas, tiene a su cargo la producción de la información estadística. Como

ejemplos de esta situación pueden citarse la mayoría de los países de América Central y el Caribe, que solo en los últimos años han comenzado a generar un conjunto básico de indicadores.

Uno de los puntos centrales para revertir esta situación reside en la capacitación de los agentes involucrados en la recolección, procesamiento y presentación de información estadística. Sin un conocimiento formal de los estándares internacionales y de las metodologías adecuadas para la producción de indicadores por parte de los actores involucrados en esta tarea, resulta imposible multiplicar la disponibilidad de información estadística confiable para la región, así como también impide el abordaje de las nuevas temáticas en la medición de las actividades científicas y tecnológicas, que son requeridas para la toma de decisión política en la materia.

2.4. Los indicadores como herramientas para la evaluación de las actividades de ciencia, tecnología e innovación

La evaluación es un proceso que en cierto modo constituye el núcleo central de las políticas en ciencia y tecnología (Albornoz, 2001). Esto se deriva de sus finalidades explícitas y también de otras finalidades implícitas. Las finalidades explícitas de los procesos de evaluación están relacionadas con la asignación de calidad relativa y con la toma de decisiones de distinto tipo: asignación de recursos, gestión de grupos y proyectos, publicación de artículos y orientación de la investigación. Algunas de las más importantes finalidades explícitas de la evaluación en ciencia y tecnología son las de otorgar financiamiento, acreditar grupos, apoyar la evaluación institucional global, determinar capacidades, identificar vacancias. Las finalidades implícitas, por su parte, tienen que ver con la consolidación de la comunidad científica y la puesta en práctica de su sistema de valores, roles y reconocimientos internos. Así, los mecanismos de evaluación se convierten también en una forma de distribución del prestigio, mecanismo que se da a través de la evaluación de pares.

El auge de una cultura de la evaluación puede ser explicada también en la medida en que el conocimiento científico es percibido como un valor estratégico, a la búsqueda de la eficiencia y a la necesidad de justificar la asignación de recursos públicos. Esta tendencia también enfatiza la evaluación de resultados mediante procedimientos en los que intervengan actores no científicos, si bien desde el punto de vista de la comunidad científica esto implica una pérdida de control no aceptable por cuanto abriría las puertas a la mediocridad ya que, con el argumento del interés económico y social, el método induciría a la aprobación de proyectos de investigación de escaso mérito científico.

La evaluación de las actividades de I+D es uno de los temas centrales de la política científica (Geuna y Martin, 2001). Dado que los recursos públicos son siempre limitados, la determinación de los fines de esos recursos es siempre un tema vital en la implementación de políticas públicas. Al mismo tiempo, la expansión de los sistemas científicos y tecnológicos —tanto en cantidad de

profesionales involucrados como en la complejidad de los sistemas institucionales que le dan soporte- genera una mayor demanda de recursos para la I+D.

En ese contexto es imprescindible contar con mecanismos de evaluación que permitan invertir los recursos en aquellos proyectos e investigadores que demuestren mayor calidad y pertinencia. Esto implica, por otra parte, establecer parámetros para medir el desempeño y la productividad de las instituciones e investigadores involucrados (Albornoz, 2001).

2.4.1. La revisión de pares

La evaluación no es, sin embargo, una actividad que haya aparecido con la moderna gestión de la I+D. De hecho, bajo la modalidad de “revisión de pares” ha tenido un lugar central desde los comienzos de la institucionalización de la ciencia, por ejemplo para la publicación de trabajos y la promoción de investigadores. En general, existe consenso alrededor de la validez de este mecanismo, en la medida en que expresaría el punto de vista de la propia comunidad científica.

Por otra parte, la evaluación de pares resulta una manera privilegiada de responder a la más compleja pregunta que debe enfrentar la evaluación de las actividades de ciencia y tecnología: discernir sobre la calidad de un proyecto y sus posibilidades técnicas, ordenando de manera comparativa las diversas propuestas presentadas. Esto es, en buena medida, gracias a que se trata de un sistema abierto y no estrictamente estandarizado, que permite lidiar con la complejidad de un campo científico en constante cambio y evolución (Hansson, 2010).

Sin embargo, en buena medida por tratarse de un sistema de autorregulación de la comunidad científica, a lo largo del tiempo han ido apareciendo críticas a este sistema, en particular de parte de los gobiernos o de instituciones que financian la investigación. Por ejemplo, y también por tratarse de un sistema abierto y no estandarizado, tiende a reflejar la mirada propia del estado del arte en una disciplina, cuyos principales referentes suelen ser los evaluadores más requeridos. Esto puede llevar con facilidad a un conservadurismo estructural, receloso de las propuestas que puedan generar un cambio de paradigma, en términos de Kuhn (Hansson, 2010).

Las objeciones que se han formulado contra este sistema a lo largo del tiempo son diversas. Albornoz (2001) identifica y agrupa varias de ellas, facilitando su análisis. Por un lado, se objeta que el sistema se ve sometido a una creciente sobreexigencia, en la medida en que se solicita una análisis muy preciso que permita distinguir entre propuestas que pueden resultar en la práctica igualmente meritorias. Otra crítica recae en que los evaluadores también deben enfrentar la fatiga, como resultado de el número creciente de objetos que deben evaluar, lo que reduce su espíritu de colaboración y la calidad del trabajo.

Por otra parte, aparecen tres críticas relacionadas con la objetividad de los resultados: la imparcialidad y la corrupción. Ambas están relacionadas con que, muchas veces, los evaluadores pueden ser competidores directos de sus evaluados y existen denuncias sobre plagio y aprovechamiento indebido de la información utilizada en el proceso de evaluación.

En la actualidad, como resultado de estos cuestionamientos, están apareciendo ciertas modificaciones en el proceso de evaluación de pares. Por un lado, en ciertas instituciones toma cada vez mayor importancia el rol de los “no pares”, es decir agentes que no son investigadores activos pero que tienen una papel importante en el proceso de evaluación. Sus tareas pueden ir desde la generación de insumos para la evaluación, como por ejemplo ciertas medidas cuantitativas, o la gestión administrativa de los procesos, hasta la existencia de administradores de los programas como una marcada y directa injerencia en el proceso de evaluación y sus resultados (Albornoz, 2001). Por otra parte, están comenzando a utilizarse modelos en los que el evaluador y el evaluado dialogan en diversas entrevistas a lo largo del proceso de evaluación, alcanzándose así un mayor entendimiento, transparencia y precisión en los resultados (Hansson, 2010).

2.4.2. Tipos, niveles y usos de los mecanismos de evaluación

La evaluación, en primera instancia, puede distinguirse en ex-ante y ex-post. La primera se realiza antes de la ejecución de la investigación que se pretende evaluar, decidiendo el otorgamiento de recursos en base a la trayectoria de los investigadores involucrados, importancia, pertinencia y posibilidades de éxito. La evaluación ex-post, en cambio, se realiza una vez finalizada la actividad sujeto de la evaluación y se centra en sus resultados e impactos (Geuna y Martín, 2001).

Existen también otras dos distinciones posibles: la evaluación sumativa y la evaluación formativa. La primera se basa en el desempeño particular de una unidad, de manera acumulativa a lo largo de un cierto período, y su comparación con unidades de características similares. La evaluación formativa, en cambio, se centra en el monitoreo de la unidad evaluada de cara al cumplimiento de ciertas metas para ella establecidas (Hansson, 2010).

En base a esta batería de posibles mecanismos de evaluación, se consiguen importantes herramientas para la toma de decisiones en la gestión de la investigación. Esto se produce a varios niveles, desde proyectos y programas hasta organizaciones y sistemas nacionales. Por otra parte, a partir de los resultados de la evaluación, es posible definir dos tipos principales de acciones. Por un lado la formulación de estrategias y, por el otro, la asignación de fondos.

La formulación de estrategias se produce principalmente a nivel institucional y nacional, teniendo en cuenta las fortalezas y debilidades propias, en un contexto determinado, con el objetivo de establecer prioridades y planificar el camino futuro. La evaluación para la asignación de fondos, en cambio, tiene por objetivo determinar a qué instituciones, proyectos o investigadores se entregarán recursos, en base al análisis de su desempeño anterior e idoneidad para las actividades que se financiarán, buscando obtener los mejores resultados o los mayores impactos posibles a partir de los fondos otorgados.

Por otra parte, la evaluación de la investigación se puede centrar en distintos niveles de creciente tamaño y complejidad. La OCDE identifica, al menos, cinco tipos de unidades que permiten esquematizar el problema: Investigadores individuales, grupos de investigación, disciplinas científicas, instituciones y programas y, finalmente, países (OCDE, 1997b).

Por otra parte, para cada uno de este tipo de unidades, la evaluación de la investigación puede ser interna o externa. El primer tipo es un proceso auto implementado por las propias instituciones. Las motivaciones para esto en algunos casos provienen de necesidades de gestión interna y, en otros casos, responden a regulaciones establecidas por instancias superiores. La evaluación externa, en cambio, es ejecutada por una entidad externa a la unidad evaluada, también por instrucciones o regulaciones provenientes de instancias de control superiores.

Cada uno de estos tipos de evaluación utiliza determinados criterios y metodologías, dependiendo de los aspectos que se desea medir. Por ejemplo, esos aspectos pueden agruparse en cuatro categorías: el volumen de los resultados, la calidad, el impacto y la pertinencia (Geuna y Martin, 2001).

2.4.3. Indicadores para la evaluación

El uso de indicadores para la evaluación de la ciencia y la tecnología se centra, principalmente, en los productos primarios de esta actividad: la producción de conocimiento. Estos productos pueden observarse en sus expresiones tangibles, como publicaciones, artículos científicos, libros o conferencias. Según la disciplina de que se trate, pueden incluirse también diseños, patentes y software.

Más allá de estos productos existen otros resultados, o impactos, cuantificables mediante indicadores. Ejemplos de este tipo de resultados es la formación de recursos humanos, mensurable en la cantidad de graduados, aplicaciones de la investigación, que puede cuantificarse a través de los contratos de transferencias de tecnología, consultoría, servicios, y las vinculaciones con la comunidad internacional, visible a través de publicaciones conjuntas, convenios o estadias. En general es deseable considerar también estos resultados secundarios o impactos en el proceso de evaluación, en cualquiera de los niveles. Sin embargo, este tipo de expresiones de la I+D son mucho más complejas de identificar y definir en términos cuantitativos (Albornoz, 2001).

Desde hace tiempo, es cada vez más común la evaluación de la productividad de instituciones e investigadores a partir de indicadores cuantitativos, como los bibliométricos, con fuerte énfasis en la medición de citas bibliográficas. La expansión del acceso y el facilitamiento del uso de estas fuentes han generado un cambio cualitativo en los mecanismos de evaluación. La posibilidad de, en cierta medida, automatizar la evaluación mediante el uso de indicadores bibliométricos es una tentación constante para los encargados de esta actividad, tanto por su menor costo como por su fácil gestión. La introducción de estas técnicas, sin embargo, genera incógnitas sobre la influencia que pueden tener los mecanismos de evaluación en el comportamiento de los investigadores (Hansson, 2010). Por ejemplo, sobre cómo los investigadores establecen sus prioridades de investigación y si la elección de sus líneas de trabajo está condicionada más por la agenda de revistas de alto factor de impacto más allá de la pertinencia del tema a nivel institucional o local.

Por otra parte, las evaluaciones basadas en la contabilización de artículos científicos científicos y sus citas no han resultado particularmente útiles para la medición de la calidad de la investigación. Es por ejemplo el uso del factor de impacto, ya descripto anteriormente, como una herramienta de evaluación

basada en citas y que pretende dar una aproximación a la calidad de los documentos publicados en una revista. Si bien pueden dar cuenta de cantidades de documentos, como una aproximación válida a la producción de conocimiento, no pueden ser utilizados como única herramienta, en la medida en que esa medida unidimensional no puede dar cuenta de las complejidades de la investigación (Hansson, 2010).

Sin importar los niveles a los que se aplique y los resultados e impactos que se midan, la evaluación depende de dos aproximaciones complementarias: el uso de indicadores cuantitativos (principalmente bibliométricos) y de la cualitativa revisión de pares. Este último es irremplazable, en la medida en que sólo los pares informados pueden emitir un juicio preciso sobre la calidad y pertinencia de la investigación (Albornoz, 2001).

Si bien existen cuestionamientos al uso de los indicadores bibliométricos, como algunos de los ya mencionados, existe un cierto acuerdo sobre la utilidad de estos datos como medida comparable del volumen de la investigación y se constituyen así en una herramienta de información vital para una revisión cualitativa de pares informada sobre bases más sólidas.

Para la evaluación de algunos aspectos de la investigación, principalmente los resultados secundarios, se requieren esfuerzos específicos, como por ejemplo la formación de recursos humanos que no siempre está perfectamente documentada.

Incluir metodologías que aborden este tipo impactos en los mecanismos de evaluación puede ser de gran utilidad, en la medida que permite monitorear la evaluación de la base científica de un país. Esto es central, principalmente en la evaluación universitaria, ya que el principal objetivo de este tipo de instituciones es la formación de recursos humanos (Geuna y Martin, 2001).

Capítulo 3

Fuentes de datos y herramientas para la producción de información científica, tecnológica y de innovación

3.1. Las determinaciones de las fuentes de datos en la consolidación de cada familia de indicadores

Como se ha expuesto anteriormente, la producción de información e indicadores en ciencia, tecnología e innovación está moldeada por un paradigma teórico que define los interrogantes que se plantean y los factores y dinámicas de la actividad científica y tecnológica que se monitorearán para dar cuenta de ellas. Si bien el enfoque teórico es lo que define en primer término los tipos de indicadores que se construirán, la disponibilidad de fuentes de datos es también un factor condicionante de importancia. Algunos fenómenos que puede resultar interesante medir suelen aparecer con una complejidad tal que separarlos de otros factores resulta casi imposible, o bien no dejan huellas tangibles fieles que monitorear.

Es así como, por ejemplo, cada familia de indicadores que se ha ido desarrollando está fuertemente ligada a fuentes de datos que le dan sustento. En algunos casos esas fuentes ya existían y son explotadas con fines cuantitativos, mientras que en otros casos, las características de los fenómenos que se desea medir requieren del desarrollo de instrumentos específicos para la recolección de datos.

Esta relación entre la información y las fuentes es central en los resultados obtenidos. Sin embargo, las características de las fuentes de datos tienen un impacto muy fuerte en los resultados, que siempre tienen algún tipo de tendencia o sesgo

resultante de imperfecciones en los instrumentos de recolección. Esto se extrema en la información cuantitativa. Si bien la intencionalidad en la presentación de un indicador y no de otro denota un paradigma teórico que privilegia unos fenómenos sobre otros para dar cuenta del objeto de estudio, y que esta intencionalidad puede ser en mayor o menor medida transparente para quien se enfrenta a la información, los sesgos introducidos por las características metodológicas, fortalezas y limitaciones de las fuentes implicadas suelen quedar mucho más veladas.

Por ejemplo, el indicador de ciencia y tecnología más clásico -el gasto en I+D en relación al PBI- puede encontrarse mencionado a menudo en diferentes ámbitos y se ha naturalizado como una medida del esfuerzo de cada país en este terreno. Sin embargo, es muy poco frecuente encontrarlo acompañado de alguna mención a las fuentes y metodologías que le dieron origen, las dificultades para cubrir ciertos sectores y las estimaciones complementarias que fueron necesarias para su construcción.

En este sentido, las notas metodológicas incluso suelen aparecer en documentos separados, que no invitan a una lectura particularmente crítica de la información. Mientras que los usuarios tienden a no considerar estas notas, los productores suelen minimizarlas con el argumento de que lo importante es la tendencia, aún sobre la extrema precisión de los valores obtenidos. De esta forma, se olvida que las estadísticas son siempre construidas (Godin, 2004).

A continuación, se describen las principales fuentes de información utilizadas en las familias de indicadores más importantes, haciendo una descripción de sus fortalezas, limitaciones y condicionamientos sobre el resultado final.

3.1.1. Indicadores de insumo de la I+D e indicadores de innovación

Si bien los datos sobre la inversión y los recursos humanos empleados en I+D puede provenir de un amplio espectro de fuentes, tales como los informes anuales de los consejos de investigación o de las grandes instituciones ejecutoras, estos suelen ser tan sólo una medida aproximada de los recursos totales. El propio Manual de Frascati resume las principales dificultades de tomar estas fuentes, afirmando que los conceptos de I+D utilizados en ellos no sólo difieren con frecuencia de las definiciones dadas en el Manual sino que también pueden cambiar con el tiempo. Por otra parte, es muy difícil obtener todos los datos del mismo período de tiempo y evitar un doble recuento, al hacer un seguimiento de los flujos financieros a partir de los documentos contables y de otras fuentes (OCDE, 2002).

Por estas razones, entre otras, la fuente de información privilegiada para la construcción de este tipo de indicadores son las encuestas a las unidades ejecutoras. De hecho, el nombre completo del Manual de Frascati es “Norma Práctica para Encuestas de Investigación y Desarrollo Experimental”. A partir de este tipo de relevamientos, es posible obtener resultados que garanticen en mayor medida la compatibilidad, normalización y regularidad de los datos obtenidos como base para la construcción de indicadores.

Sin embargo, los problemas operativos asociados a la ejecución de encuestas de I+D. Debido a la falta de registros satisfactorios, al costo de las encuestas estadísticas y a la necesidad de limitar la cantidad de información estadística solicitada a los encuestados, no siempre pueden las encuestas proporcionar toda la información requerida. Por ese motivo, las estimaciones son un complemento necesario de las encuestas (a los propios encuestados se les pide frecuentemente que hagan estimaciones para poder aportar la información solicitada). Utilizando ratios calculados a partir de las relaciones establecidas con los datos de las encuestas, se puede emplear cierto tipo de informaciones incompletas para obtener las tendencias globales, o totales, sin tener que recurrir a una encuesta muy costosa (OCDE, 2002). Por ejemplo, los insumos de I+D del sector de la enseñanza superior frecuentemente se estiman de manera total o parcial.

Idealmente, las encuestas deberían permitir identificar y medir todos los recursos financieros y de personal dedicados al conjunto de las actividades de I+D en todas las unidades de I+D. Estas encuestas se dirigen principalmente a las unidades ejecutoras de I+D, que pueden también financiar la I+D ejecutada en otras unidades (esto se contempla en una pregunta sobre gastos externos).

Para la obtención de los datos necesarios para la construcción de los indicadores, el Manual de Frascati recomienda la realización de encuestas a las unidades que se sabe, o se presume, realizan actividades de I+D, tanto en el sector gobierno como en las empresas e instituciones privadas sin fines de lucro. El manual cuenta con un capítulo dedicado a los métodos de encuestas en los diferentes sectores, aportando criterios operativos y técnicas para la estimación ante las faltas de respuesta total o parcial.

Sin embargo, dadas las características de la ejecución de encuestas, los esfuerzos necesarios para maximizar el número de respuestas y las complejidades de su procesamiento, la disponibilidad de los datos se obtiene recién luego de varios meses de cerrado el ejercicio que se está relevando. Por ese motivo, si bien es imposible reemplazar la confiabilidad de los datos obtenidos por encuestas directas a las unidades ejecutoras de actividades científica y tecnológicas, no es menor la demanda de estimaciones y proyecciones que den indicios de la evolución de los indicadores más necesarios para los tomadores de decisiones en política científica y tecnológica y los evaluadores de programas con efecto directo sobre el sistema científico, tecnológico y de innovación.

Entre las fuentes más utilizadas para estas estimaciones preliminares y proyecciones están los créditos presupuestarios públicos, de los que es posible obtener información valiosa, ya que estos están clasificados de acuerdo a objetivos socioeconómicos. Sin embargo, las posibilidades dependen en buena medida de la profundidad de detalle con que se cuenta en las clasificaciones, dado que no todos los países cuentan con información con la suficiente desagregación. Por otra parte, esta fuente ofrece un panorama interesante aunque incompleto, ya que brinda información sólo sobre la investigación financiada por el sector público. Por otro lado, se puede obtener también información y otros datos útiles a partir de los informes de instituciones financiadoras, consejos de investigación y fondos de I+D, e incluso de los informes de las asociaciones industriales. Sin embargo, se trata de datos en general desnormalizados y metodológicamente heterogéneos, que sirven principalmente como complementos para la estimación o la verificación de los resultados.

Otro factor a considerar es que la información sobre recursos financieros de las actividades científicas y tecnológicas se encuentra en sus fuentes originales, casi siempre, expresada en moneda local a valores corrientes. Sin embargo, una vez contruidos los valores agregados, puede resultar de interés convertir estas series a valores constantes. Asimismo, para facilitar la comparación internacional se suele disponer de promedios anuales del tipo de cambio que permitan expresar la información en dólares. Otra unidad de expresión de los recursos monetarios, que también apunta a favorecer la comparación internacional, es la de paridad de poder de compra (PPC), que involucran el tipo de cambio junto con los índices de precios relativos de cada país.

Algo similar ocurre en el dominio de la innovación. El Manual de Oslo, incluso, da un paso más allá y con el objetivo de que los indicadores adquieran un valor extra al contar con una cierta homogeneidad que permita la comparación internacional de los resultados, ofrece como propuesta el formulario de encuesta, que fue adoptada por los países de la Unión Europea para cada una de sus Community Innovation Survey (CIS) (OCDE, 2005). En el caso latinoamericano, el Manual de Bogotá también cuenta con una propuesta de formulario común, que ha sido adoptado por la mayoría de los países latinoamericanos que han efectuado encuestas de innovación tecnológica (RICYT, 2001).

Los datos sobre innovación también tienen como fuente privilegiada a las encuestas en el sector de las empresas. La población objetivo de las encuestas sobre innovación se refiere a unidades estadísticas (tanto las empresas que innovan como las que no lo hacen, las que realizan trabajos de I+D y las que no) pertenecientes al sector empresarial. Se incluyen en este sector tanto las industrias que producen bienes como las que prestan servicios.

Es importante, a la hora de relevar la información, que las actividades de innovación se realizan tanto en las unidades pequeñas y medianas como en las unidades de gran tamaño. Para tener en cuenta las actividades de innovación en las unidades pequeñas, se importante que la población objetivo incluya como mínimo todas las unidades estadísticas que cuenten con al menos diez empleados. Este umbral puede aumentarse para determinados sectores industriales, como la construcción y el comercio al por menor (OCDE, 2005).

En general, dado el tamaño del universo de empresas, se construyen muestras representativas. El marco ideal para ello es un registro oficial de empresas actualizado y establecido con fines estadísticos. Los institutos nacionales de estadísticas tienen generalmente tales registros. Si el registro sirve de base a varias encuestas, como la encuesta sobre innovación, la encuesta sobre I+D y la encuesta de estadística general sobre las empresas, la información recogida en la encuesta sobre innovación puede limitarse a las preguntas específicas a esta última. El resto de la información, por ejemplo sobre I+D o las variables económicas generales como el empleo, la cifra de negocios, las exportaciones o las inversiones, puede obtenerse directamente de las otras encuestas basadas en el mismo registro. Es pues deseable realizar los diversos tipos de encuestas basándose en un mismo registro de empresas mantenido con fines estadísticos.

3.1.2. Indicadores de stock de recursos humanos

El enfoque de los indicadores de stock de recursos humanos, resumido en el Manual de Canberra, requiere de fuentes de información diferentes. Estas fuentes, de nivel nacional, para la construcción de indicadores de stock y flujo de recursos humanos pueden clasificarse en tres grupos (OCDE, 1995).

En primer lugar aparecen los registros primarios. En algunos países, principalmente en el norte de Europa, existen bases de datos coordinadas para el registro de características individuales, que van desde la trayectoria educativa hasta los datos de empleo, todo con un alto nivel de detalle. Existen también registros específicos de las personas involucradas en actividades de investigación y desarrollo. En el caso latinoamericano, existe el caso del CVLac, un emprendimiento regional para el almacenamiento de los curriculum vitae de personal relacionado con actividades científicas y tecnológicas, que entra en esta categoría. La ventaja de este tipo de fuentes reside en que son fácilmente procesables para la construcción de indicadores, aunque existen algunas limitaciones, en algunos casos relacionadas con la confidencialidad de la información y, en otros, resultantes de errores y desnormalizaciones procedentes de que la carga sea realizada por el propio sujeto.

En segundo lugar, aparecen los censos nacionales de población. Esta fuente tiene como gran ventaja la de cubrir la población total y no sólo una muestra, permitiendo obtener un detalle muy preciso y profundo de la situación de los recursos humanos. Como desventaja, el realizarse sólo una vez a la década (debido a restricciones económicas y operativas) la información obtenida puede quedar desactualizada rápidamente. Además, el procesamiento de un volumen tan grande de datos hace que los resultados estén disponibles mucho más tarde, por lo que su utilidad para la toma de decisiones en políticas de corto plazo se ven limitadas.

Finalmente, los indicadores de stock de recursos humanos pueden apoyarse en la aplicación de encuestas específicas. En este conjunto se destacan las encuestas de hogares. A partir de ellas se pueden obtener datos similares a los de los censos de población, aunque con una actualización, generalmente trimestral, de la información. Sin embargo, al tratarse de encuestas muestrales, el detalle que puede obtenerse (como por ejemplo el detalle de departamentos geográficos, grupos de población u ocupaciones específicas) puede verse limitada por el volumen de la muestra. La combinación de estas encuestas con los censos de población realizados cada década, puede configurar una interesante base de datos para este tipo de indicadores. Otras fuentes son las encuestas anuales de empleo, aunque si bien algunas se centran en los empleadores y permiten observar tendencias, por lo general no están centradas en ciencia y tecnología, por lo que su nivel de detalle puede ser escaso para este tipo de postprocesamientos. También se pueden obtener datos interesantes de las estadísticas de migración, aunque una vez más, su utilidad depende del nivel de detalle que tenga la recolección.

Sin embargo, por la calidad y precisión de los datos, los censos de población son la fuente privilegiada para obtener este tipo de información. Sin embargo, dado que tales censos poseen por lo general una periodicidad no menor a los diez años existe mucha distancia entre relevamientos. También es posible utilizar encuestas de hogares, las cuales suelen tener una periodicidad incluso menor

al año, si bien se manejan con muestras representativas y cuestionarios menos detallados (OCDE, 1995).

Finalmente, otra ventaja de estas fuentes reside en que al tratarse de datos demográficos cuyas fuentes cuentan también con información por fuera del dominio de la ciencia, la tecnología y la innovación, es posible realizar cruces que enriquecen sensiblemente la interpretación. Por ejemplo, en los censos de población, se cuenta con datos sobre ingresos o de movilidad internacional asignados a cada individuo cubierto en el universo a analizar.

3.1.3. Indicadores de productos de las actividades científicas y tecnológicas

Existen distintas bases de datos que recopilan las publicaciones científicas, con distintos objetivos y coberturas. Cada una de ellas cuenta con una colección de revistas científicas, por lo general seleccionadas de acuerdo con criterios de calidad académica. Las bases de datos, actualmente de acceso en línea, contienen la cita bibliográfica de cada artículo publicado en las revistas de la colección y muchas veces incluyen el resumen de trabajo. En algunos casos, incluso, es posible vincular la cita con el texto completo del artículo. Al mismo tiempo, existen bases de datos multidisciplinarias, que buscan cubrir varios campos de la ciencia, y bases de datos especializadas en una sola disciplina. Para facilitar el análisis, las fuentes de información para este tipo de indicadores puede clasificarse al mismo tiempo en tres categorías, de acuerdo a su cobertura geográfica.

En primer lugar, puede identificarse a las bases de datos internacionales, que buscan cubrir la “corriente principal” de la ciencia internacional, dando cuenta de las publicaciones que marcan la frontera científica a cada momento. Muchas de ellas brindan servicios en línea que cubren períodos muy extensos, algunas remontándose a las décadas de 1950 y 1960. Sin embargo, existe una fuerte discusión sobre la representatividad de estas fuentes con respecto a la actividad científica de los países en desarrollo, dado que hay barreras temáticas, económicas e idiomáticas que dificultan la publicación de trabajos de los países periféricos en las revistas indexadas por estas bases de datos. El acceso a estas fuentes se realiza por lo general mediante suscripciones, que suelen tener un costo relativamente alto para los países latinoamericanos. Entre este tipo de fuentes puede mencionarse al Science Citation Index (SCI), del Institute for Scientific Information (ISI), la fuente multidisciplinaria más utilizada internacionalmente. En ese mismo ámbito están SCOPUS y PASCAL. Entre las especializadas pueden mencionarse Medline (ciencias de la salud), Chemical Abstracts (química) y COMPENDEX (ingeniería).

Por otra parte, existen fuentes de alcance regional. Actualmente existen distintas bases de datos que recopilan la información científica producida en América Latina. Estas iniciativas surgieron como respuesta a la mencionada discusión sobre la cobertura de la producción científica regional por parte de los índices internacionales. La mayoría de ellas son de acceso gratuito y, al igual que las fuentes internacionales, cubren lo publicado en una colección de revistas seleccionadas de acuerdo a criterios de calidad. Entre estas fuentes puede mencionarse LILACS (ciencias de la salud), PERIODICA (multidisciplinaria) y CLASE (ciencias sociales y humanidades). Un caso de particular importancia es el proyecto regional

SciELO, que integra bases de datos generadas en más de diez países de América Latina con una metodología común, que incluye estrictos requisitos de calidad académica. Además, todo lo publicado en estos portales tiene acceso irrestricto al texto completo de los artículos científicos.

Finalmente, pueden identificarse diversas fuentes de alcance nacional, con características muy variadas. En general, el objetivo de estas fuentes es recopilar los productos de la investigación realizada por investigadores de una institución o por los proyectos financiados por un fondo determinado. A diferencia de las fuentes internacionales o regionales, las bases nacionales suelen no indexar una colección de revistas, sino que se generan a partir de informes utilizados para el monitoreo y evaluación de investigadores y proyectos. Este suele ser un inconveniente importante, dado que no se toman los datos de la fuente primaria, no siempre es posible dar cuenta de la calidad de las revistas en que fueron editados los trabajos y no se cuenta con un universo pensado para ser representativo de una o varias disciplinas.

De la misma manera que las publicaciones son vistas como resultados tangibles de la actividad científica, las patentes de invención son vistas como el producto del desarrollo tecnológico, y pueden ser utilizadas como resultado mensurable de esa actividad. Entre las ventajas de la información de patentes para la medición de la actividad tecnológica es posible mencionar que cubre todos los campos tecnológicos y que está disponible en casi todos los países con series temporales relativamente largas de datos. Entre la información contenida incluyen los datos del inventor y su país de procedencia, documentos y patentes citados como respaldo, así como el campo tecnológico de referencia.

Además, los documentos de patentes están normalizados internacionalmente, por lo que su análisis comparativo entre países se ve muy facilitado. Por el contrario, es necesario mencionar que las variaciones de legislación entre países pueden implicar fuertes diferencias en el interés y capacidad de patentar los inventos. Asimismo, las estrategias empresariales sobre las regiones de comercialización de sus productos pueden influenciar marcadamente la cantidad de patentes presentadas en un país. No obstante, ninguno de estos dos factores está relacionado de forma directa con particularidades de la actividad tecnológica de los países.

La información contenida en los documentos de patentes es, por su objetivo de proteger la propiedad intelectual y permitir la difusión tecnológica, siempre de carácter público. De esta manera, las fuentes de datos en este dominio son, potencialmente, las oficinas de patentes de todos los países. Sin embargo, resulta imposible tener acceso a toda esa información, dado que son pocas las oficinas que brindan acceso completo en forma electrónica a sus bases de datos. Además, recurrir a tantas fuentes de información resultaría un proceso muy complejo.

Sin embargo, recurriendo a las bases de datos de las oficinas de patentes de Estados Unidos, Europa y Japón, que brindan acceso gratuito a sus bases de datos, es posible cubrir los mercados más importantes del mundo, obteniendo un rico panorama internacional. También resulta interesante recurrir a los datos disponibles en la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual sobre las patentes otorgadas en el marco del PCT (Patent Cooperation Treaty).

Por otra parte, existen también bases de datos que recopilan la información de

distintas fuentes, les aportan algún tipo de valor agregado y las entregan como un producto comercial. Una de las más difundidas es Derwent, que además de tener una amplia cobertura geográfica hace reelaboración de los datos que están disponibles en bases públicas; unificando registros duplicados, mejorando los títulos de las patentes para hacerlos más claros y estructurando los resúmenes. Otras similares son Delphion y Micropatent, que aunque cuentan con una cobertura similar, ofrecen herramientas de análisis de información.

En cuanto a la normalización internacional de la explotación de la información de patentes para la construcción de indicadores, en este caso también existe un manual de la OCDE que reúne recomendaciones y metodologías estandarizadas, bajo el título de “La medición de actividades científicas y tecnológicas. Utilización de información de patentes en indicadores de ciencia y tecnología” (OCDE, 1994). El manual señala que resulta interesante analizar tanto las solicitudes de patentes presentadas como las efectivamente otorgadas. Esto se debe a que no existe una correlación año a año entre uno y otro conjunto, dado que el tiempo que lleva el proceso de patentamiento puede variar mucho dependiendo del país y el campo tecnológico.

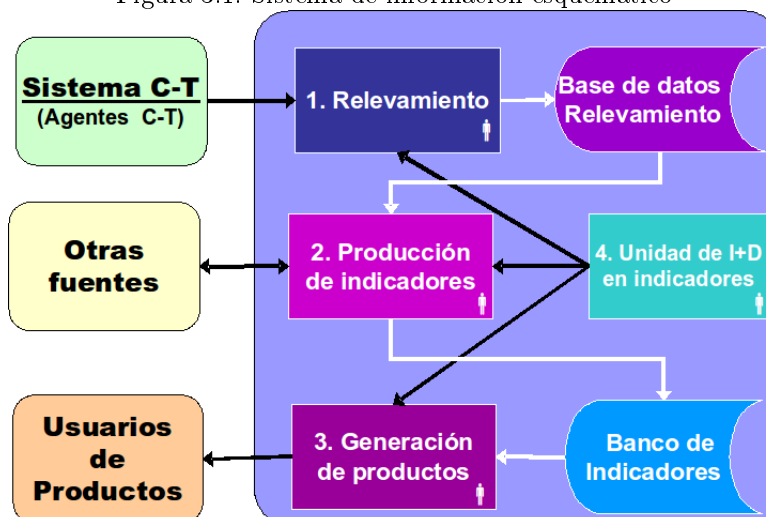
Otra distinción importante es la de presentaciones y patentes otorgadas por residentes y por no residentes del país analizado, así como la presentación de empresas locales en el exterior. De esta manera es posible realizar un monitoreo de dos fenómenos distintos: la actividad tecnológica local, mediante las patentes presentadas y otorgadas a residentes, y el interés que despierta el mercado local para las empresas del exterior, mediante las patentes presentadas y otorgadas a extranjeros. Las presentaciones en el exterior dan cuenta del interés de las firmas locales por proteger sus inventos en el extranjero, lo que señalaría su intención de comercializar sus productos en esos mercados.

3.2. Modelo tipo de un sistema de información nacional en ciencia y tecnología

Los indicadores de insumo-producto son los más difundidos internacionalmente y los que resultan básicos para el monitoreo de las actividades científicas y tecnológicas. La producción de esta información se da en las unidades estadísticas de los organismos nacionales de ciencia y tecnología. Para ello se genera un sistema de información cuyo insumo central es el relevamiento aplicado a las unidades ejecutoras, según las recomendaciones del Manual de Frascati, pero conjugando esta fuente con otras complementarias.

A continuación se presenta un esquema tipo de la estructura, flujos de información y funcionamiento básico de un sistema de información en este campo. Se trata de un modelo abstracto pero que, con variantes menores, puede encontrarse en la mayoría de los países que generan indicadores bajo estas normas internacionales. En la Figura 3.1 se presenta la estructura general, tanto dentro de la unidad estadística como en su relación con el entorno, incluyendo los agentes del sistema científico y tecnológico, los usuarios de información y las fuentes externas.

Figura 3.1: Sistema de información esquemático



El primer componente del sistema de información es el relevamiento, llevado a cabo por medio de una encuesta a las unidades ejecutoras de I+D. Este es la piedra basal del sistema porque permite recabar información directamente de la fuente. En este sentido, debe observarse al relevamiento como el puente comunicante del sistema de información, que permite a la unidad estadística entrar dentro de los distintos agentes del sistema de I+D en procura la información deseada.

Así la unidad estadística se comunica mediante el relevamiento con los principales agentes del sistema nacional de ciencia y tecnología, que se pueden agrupar en cuatro categorías: universidades, organismos de ciencia y tecnología, entidades sin fines de lucro y empresas. Dado que cada una de estas categorías posee características muy demarcadas que implican que las acciones relacionadas al relevamiento sufran modificaciones propicias, como por ejemplo modificaciones en los formularios respecto a cómo se pregunta o qué se pregunta.

El relevamiento, a su vez, puede detallarse en dos sub-componentes. El primero es el que contempla todas las acciones relativas a la recolección de datos. El segundo es aquel que implica todas las actividades de análisis y procesamiento de los datos recolectados en el anterior sub-componente.

Las acciones relativas a la recolección de información incluyen todas aquellas actividades relacionadas con la puesta en marcha de la encuesta, comenzando por la diagramación del formulario y envío del mismo al agente, hasta que el formulario es retornado por el agente. Esto incluye la preparación del formulario, incluyendo su actualización o mejoramiento, y tareas de actualización y depuración de los listados de agentes encuestar.

La información obtenida a partir del formulario adecuado a cada tipo de agente permite la construcción de la base de datos inicial sobre la que se realizará la producción de indicadores, que antes debe ser procesada, analizada y validada. Estas acciones son propias del sub-componente 2, centrado en el análisis y procesamiento de la información, e incluyen aquellas actividades que validan

y convierten los datos atomizados de los distintos agentes en un integrado que represente la información del sistema científico y tecnológico como un todo. No debe olvidarse que el relevamiento consiste en un proceso único de la unidad estadística para la obtención de datos directamente de la fuente estudiada. Es decir la unidad estadística construye su propia fuente de información que, sumada a otras fuentes secundarias, la elaboración de los indicadores y otros productos.

En base a las respuestas recibidas, se procede a la validación de los datos. Debe tenerse presente que dentro de un mismo formulario completo pueden existir distintas clases de datos: consistentes, inconsistentes u omisos. Por ende, el formulario completo no implica que se posean todos los datos requeridos en el formulario sino que basta con que disponga alguna información brindada por el agente y, por lo tanto, no sea una no respuesta. En la etapa de validación, se toman en cuenta tanto los datos registrados en el formulario como los datos registrados por formularios de relevamientos anteriores. De este modo, será posible verificar la coherencia interna del formulario respecto a todos los datos consignados, pero también verificar la coherencia temporal que posea respecto al historial del agente, así como con el de otras instituciones similares.

Si tras el análisis del formulario se dispone de datos consistentes se habrá alcanzado el resultado deseado del proceso básico de relevamiento, es decir, aquellos datos validados del agente serán almacenados en forma electrónica en una base de datos y servirán, posteriormente, como insumos para la producción de los indicadores. Los registros a nivel de microdatos suelen permanecer únicamente dentro de la misma unidad estadística para respetar la confidencialidad de la información consignada por quienes completan el formulario y las instituciones que la representan.

No necesariamente todos los datos de un formulario completo son validados, sino que existen datos inconsistentes u omisos, detectados en el procesamiento y análisis. De ocurrir esto, se determina que existe algún nivel de conflicto presente en los datos del formulario, que conduce a la unidad estadística a tomar una decisión sobre estas inconsistencias u omisiones. Así, proviniendo tanto desde un formulario completo con alguna situación de conflicto como de una situación de no respuesta, la unidad estadística decide si debe continuar con el seguimiento del agente, o bien si debe desestimar la información de la institución. Las razones por una u otra decisión dependen del agente en cuestión, el tiempo de demora, las inconsistencias del formulario, etc.

El segundo componente del sistema general es el de la producción de indicadores propiamente dicha. Una vez terminadas las tareas del relevamiento y transferidos los resultados a la base de datos con que se cuenta a tal efecto, entra en funcionamiento el núcleo del sistema de información: la producción de indicadores. Este componente se caracteriza por convertir los datos disponibles en la base del relevamiento y la los provenientes de fuentes indirectas en indicadores que buscan caracterizar el sistema científico y tecnológico.

La producción de indicadores se nutre de diferentes fuentes de información, que pueden distinguirse según cuán directas o indirectas sean respecto a los agentes del sistema de I+D. La información proveniente del relevamiento es considerada como fuente directa porque proviene casi completamente en forma directa de los

principales agentes del sistema. Esto sumado a que todo el proceso de recopilación de información está bajo control y monitoreo de la unidad estadística, a tal punto que se encuentra codificada en la base de datos a la medida del sistema de información.

Las fuentes de información indirectas son varias e incluyen desde otras dependencias del gobierno nacional, organizaciones no gubernamentales (ONGs), cámaras empresariales y demás, siempre que generen estadísticas socioeconómicas o con algún nivel de relación con el sistema de científico y tecnológico.

La determinación y obtención de los indicadores complementarios deseables implica, en algunos casos, la vinculación mediante acuerdos con la institución productora, lo que lleva a la generación de una trama de relaciones que en algunos casos puede ser difícil de entablar. La formalidad de estos acuerdos y la dificultad de establecerlos variará según la institución productora y según la sensibilidad de la información involucrada en los indicadores deseados.

La identificación de fuentes de información complementarias al relevamiento no basta por sí sola para solucionar el problema de la utilización de las mismas. Es importante determinar también cuál será la manera de integrar estas fuentes al circuito de información primaria obtenida por el relevamiento. La primera integración posible es mediante la combinación de ambas fuentes de información de manera de completar los datos faltantes del relevamiento y así construir datos totales mediante la adición de información.

A su vez, debe considerarse que la información proveniente de fuentes de datos indirectos no solamente es de utilidad para llenar aquellos huecos resultantes en la base del relevamiento. Es posible que mucha información proveniente del relevamiento necesite ser contrastada contra alguna referencia. Es decir, sin cuestionar la coherencia interna de los formularios, muchas veces es necesario contrastar la información de un formulario con información brindada por otro medio – disponible en otra fuente de datos – para salvar errores (a veces simples, como los de carácter tipográfico o de unidades) que pueden ser trasladados hasta la construcción de los indicadores agregados.

Por otra parte, también se utilizan los datos de otras fuentes para ensayar estimaciones sobre las actividades científicas y tecnológicas de un agente. De esta manera sería posible estimar transversalmente los datos de gasto en I+D faltantes de una determinada universidad mediante la proporción que representa en la asignación total de los fondos gubernamentales universitarios. O bien podrían estimarse temporalmente mediante la correlación entre sus docentes investigadores en los últimos años y el gasto realizado.

La estimación de datos parcial o total de uno o varios agentes es un proceso específico que implica conocimientos tácitos sobre cada tipo de agente aunque también de los propios agentes en cuestión. Puede recurrirse a la utilización de la información interna a la unidad estadística, mediante el uso de los datos validados del mismo agente suministrados en relevamientos anteriores; o bien, estimarse mediante el comportamiento generalizado del conjunto compuesto por una parte o la totalidad de agentes de su misma tipología.

Por otra parte, también es posible recurrir en el proceso de estimación a la utilización de datos ajenos a los relevamientos anteriores o al actual. Para esto es necesario realizar una búsqueda de información complementaria, que puede

nutrir el proceso de estimación mediante el suministro de datos auxiliares al relevamiento. De esta manera el poseer series de datos complementarios de un determinado agente puede permitir por distintos métodos estadísticos suplir la ausencia de datos primarios sobre el mismo. Así, tanto mediante el uso de información del relevamiento o complementaria al mismo, se obtiene como resultado un conjunto de datos estimados sobre uno o varios agentes.

Por último, el cálculo de los indicadores implica que se deben armonizar los datos provenientes tanto de la base de relevamiento como del cálculo de estimaciones. Una vez logrado esto, la obtención de los datos estadísticos se reduce a una serie de operaciones estadísticas simples, que has incluso es posible automatizar en gran medida en la base de datos utilizada para almacenar la información.

El último componente de este modelo es el de la generación de productos específicos, a partir de la información que se ha construido a lo largo de este proceso. Esto implica tanto la generación de productos como informes y diagnósticos para usuarios internos al organismo nacional de ciencia y tecnología, como la socialización de la información a usuarios externos. Esta unidad es la última etapa del sistema de información y debe contemplar la multiplicidad de formas que la información puede tomar, así como la variedad de usuarios que debe alcanzar.

En ese sentido, los productos pueden dividirse en dos grupos básicos. Por un lado, la información pública que puede ser compartida con distintos usuarios que deben ser determinados. Por otro lado, la información sensible que sólo puede ser manejada internamente a unidad estadística o el organismo nacional de ciencia y tecnología. Lo que varía es, principalmente, la desagregación de la información buscando mantener resguardado el secreto estadístico.

Ejemplos clásicos de productos son los compendios anuales de indicadores, su presentación Web o productos de mayor elaboración teórica, como análisis de la situación de aspectos de la I+D en base a la información estadística obtenida.

Los indicadores de I+D basados en encuestas a unidades ejecutoras, el principal resultado de estos tan difundidos a nivel internacional sistemas de información, son la familia de indicadores más utilizados. Una encuesta realizada por la OCDE a un amplio abanico de usuarios de información estadística en ciencia, tecnología e innovación, ha demostrado que los indicadores oficiales de I+D -en especial los de inversión- son los más utilizados. Un 80 % de los consultados dijo utilizarlos con regularidad, un valor mayor que el de los indicadores bibliométricos y de patentes, que obtuvieron respuestas favorables en menos del 50 % de los consultados (OCDE, 2007).

Pueden identificarse tres causas principales que explican la mayor utilización de esta familia de indicadores por el público general de las estadísticas de ciencia, tecnología e innovación. En primer lugar, la legitimidad del Estado que tiene un virtual monopolio sobre la realización de encuestas de I+D como consecuencia de ser ellos mismos quienes producen la información oficial y establecen los estándares. De esta manera, la legitimidad del Estado se transfiere a las encuestas que realiza y a los resultados estadísticos que obtiene (Godin, 2002).

En segundo lugar, la información monetaria es fácil de comprender y de comparar con otras estadísticas socioeconómicas. En ese sentido, el autor señala que

las medidas monetarias son uno de las pocas escalas que pueden ser completamente comprendidas tanto por los científicos como por los políticos o la sociedad civil. Por último, no es menor el efecto de ser la primera familia de indicadores disponible, desde que se realiza una medición cuantitativa de la ciencia. Por tal motivo, se requerirá mucho tiempo e inversión para que otras familias de indicadores alcancen ese nivel de desarrollo y difusión.

3.3. La sociedad de la información y la generación de nuevas fuentes de datos

Desde hace ya varios años, los procesos que caracterizan la comúnmente llamada sociedad de la información se han ido profundizando. Muchos autores coinciden en las características principales de este fenómeno es que la creación, distribución y manipulación de la información se vuelven una parte central de las actividades culturales y económicas. De esta manera, en base a la evolución y el uso intensivo de las tecnologías de la información y la comunicación, el incremento en la transferencia de información modificó un amplio abanico de actividades que se desarrollan en la sociedad.

La producción y la economía no escapan a este fenómeno, en el que las redes digitales y el conocimiento humano están transformando casi todo lo que producimos y hacemos. Este proceso se intensificó a partir de los años noventa, sobre todo en base a dos tendencias tecnológicas que afectan a los negocios mundiales, a las instituciones y a la vida cotidiana. Una es la rápida expansión de Internet y su explotación comercial por empresas e instituciones. La otra es la liberalización de las telecomunicaciones y la aparición de nuevos servicios telemáticos digitalizados (Ordoñez y Arango, 1998).

Evidentemente, la disponibilidad, transmisión y medios de producción de la información fueron el aspecto más revolucionado. Así, los datos e información que anteriormente se manejaban en papel han ido dando paso a archivos digitalizados, mientras que la aparición de herramientas informáticas para el tratamiento de los datos ha permitido el crecimiento exponencial del volumen manejado.

En el aspecto técnico, el rápido surgimiento de estándares de comunicación, que permiten que todo el mundo se comuniquen entre sí a un costo esencialmente nulo, es un cambio fundamental. El principio importante es que los mismos estándares técnicos soportan todas las tecnologías de lo que se denomina red: el Internet, que conecta a todo el mundo; los extranets que conectan a las organizaciones entre sí; y los intranets, que conectan a los individuos dentro de las compañías (Ordoñez y Arango, 1998).

Los estándares abiertos han multiplicado la cantidad de personas y organizaciones conectadas por redes están liberando la información de los canales que usualmente se han requerido para intercambiarla. Si bien los estándares pueden no ser ideales para toda aplicación individual, y suelen generar ciertas discusiones, suelen terminar por ajustarse a la mayor parte de sus propósitos.

Según se estima, el volumen de datos a nivel mundial se duplica cada veinte meses, mientras que el tamaño y cantidad de bases de datos crece incluso más

rápidamente. En 1989 se calculaba que existían en el mundo cinco millones de bases de datos, la mayoría de las cuales eran pequeñas y de uso personal o de acceso limitado a un puñado de personas. La automatización de muchas funciones y actividades han generado una corriente increíble de datos desde el momento en que transacciones simples, como una llamada telefónica, el uso de una tarjeta de crédito o la visita a un médico son asentadas en computadoras (Frawley et al, 1992).

En el ámbito científico ocurre un fenómeno similar. Por ejemplo, la NASA declara poseer más datos de los que puede analizar. Los satélites de observación terrestre generan más de un terabyte por día. A un ritmo de una imagen cada segundo, le tomaría a una persona varios años observar cada una de las fotos de un día. Otro ejemplo es el del Proyecto Genoma Humano, que ha almacenado miles de bytes por cada uno de los varios miles de millones de genes.

El ámbito de la información científica no escapa tampoco a este fenómeno. Las bases de datos generadas a partir de la indexación de revistas científicas han alcanzado dimensiones inéditas. Por ejemplo el Science Citation Index, que recoge las citas bibliográficas de los documentos publicados en cerca de 7.000 revistas, ha alcanzado una masa de más de 10 millones de registros que datan, incluso, de 1965. Su competidora, SCOPUS, es aún mayor. Con más de el doble de revistas, alcanza un volumen superior a los 35 millones de registros, que retrospectivamente alcanzan hasta más allá de 1969.

Algo similar ocurre con las patentes. Se calcula que existen cerca de 50 millones de patentes registradas en el mundo, cubriendo todos los campos de la aplicación industrial. El acervo de conocimiento es increíblemente extenso, pero no siempre bien explotado. Incluso existen trabajos que calculan en más de 20 mil millones de euros el monto que han perdido las empresas por realizar I+D en productos que ya estaban patentados.

Por otra parte, nuevas fuentes de información están surgiendo y consolidándose en el ámbito científico. Un ejemplo de ello son las bases de datos de Curriculum Vitae, que están en funcionamiento o en proceso de desarrollo en más de diez países latinoamericanos (D'Onofrio, 2009). Si bien sólo en dos países -Brasil con el sistema Lattes y Colombia con el CVLAC- han alcanzado una cobertura apropiada de la comunidad científica, el volumen de información, el alto nivel de detalle y las posibilidades de entrecruzamiento de datos que ofrecen es claramente revolucionario. Brasil cuenta con más de 1.140.000 CV registrados, mientras que Colombia alcanza a los 95.000.

Por otra parte, los países que están encarando ésta tarea se han nucleado en la Red Scienti y trabajan en la compatibilización de un estándar de intercambio de datos y en una estructura de CV común que permita la interoperabilidad de los sistemas, generando una virtual base de datos regional. Asimismo, para dar una magnitud de la riqueza de la información, los modelos actualmente en funcionamiento de CV tienen alrededor de 1.800 variables.

Por otro lado, el acceso a estas fuentes de información y las posibilidades para su procesamiento se han simplificado de manera absoluta. Todas las fuentes mencionadas pueden ser accedidas a través de Internet y, en su mayoría, sin ningún costo. Por otra parte, casi todas cuentan con formatos de descarga que facilitan el reprocesamiento de los datos con fines analíticos.

Una expansión similar se ha producido en la capacidad de cómputo, que crece de una manera asombrosa y sostenida. Desde que en 1965 Gordon Moore, quien luego sería uno de los fundadores de la empresa Intel, observó que la cantidad de transistores en un circuito integrado se duplica cada dos años, ese fenómeno no ha dejado de verificarse. Este crecimiento exponencial de la capacidad de cómputo, que desde entonces se conoce como la Ley de Moore, se mantendrá, según se prevé en base a la capacidad actual y el ritmo de innovación de la industria, hasta más allá del 2020.

Sin embargo, ciertos autores sostienen que, mientras que al inicio de la revolución informática las computadoras prometían una fuente de sabiduría, lo que han traído es una inundación de datos. Otros sostienen que todas las innovaciones nos dejan flotando en un océano cada vez más vasto de información, que se debe navegar con herramientas que están lejos de estar a la altura de la tarea por delante. El fenómeno que comunmente se llama "sobrecarga de información", sería en realidad es una consecuencia de la brecha entre el volumen de información y la efectividad de las herramientas organizadoras disponibles (Fawley, 1992; Ordoñez y Arango, 1998).

En ese contexto, dos tipos de herramientas aparecen como de gran utilidad. Por un lado, aquellas que ayuden a visualizar y estimular, dado que la visualización convierte grandes volúmenes de datos en imágenes fácilmente comprensibles, y por otro lado la simulación podría convertirse en un instrumento intelectual de entrenamiento, permitiendo experimentar con estrategias para enfrentar distintas situaciones.

3.4. Nuevas posibilidades para la producción de información y el desarrollo de nuevas herramientas

La combinación de los dos factores antes mencionados: el desarrollo masivo de técnicas de procesamiento informático y la generación de grandes bases de datos dentro del dominio científico y tecnológico, han abierto las puertas a nuevas posibilidades para la producción de información en este terreno. Uno de los principales cambios que se están registrando es un cambio de foco desde la información atributiva a la información relacional.

Las familias de indicadores tradicionales ya comentadas, y que se basan fundamentalmente en encuestas y registros administrativos, dan como resultado indicadores resultantes de la explotación de información atributiva, es decir descripciones cuantitativas de las características propias de una determinada unidad de análisis. Por ejemplo, la cantidad de investigadores de una institución, la composición de su financiamiento o la cantidad y características de su producción científica. Ninguno de estos indicadores da cuenta de las relaciones e interacciones que se generan entre los diversos actores del sistema y que sólo puede observarse en el análisis conjunto de un volumen más abarcativo de información.

Justamente en eso se centra el enfoque relacional, en extraer información que no está presente en cada uno de los datos disponibles, sino que emerge de una visión

integradora del conjunto de datos de un dominio determinado. Por ejemplo, la forma en que se relacionan las instituciones de un país entre sí no surge del análisis de las colaboraciones de cada una por separado, o bien, los principales temas abordados por la biología a nivel mundial no pueden deducirse de la observación de un sólo artículo científico.

Por supuesto, este tipo de análisis sólo es posible con la aplicación de ciertas técnicas informáticas sobre bases de datos que lo permitan. Sin embargo, surge un desafío más: la visualización de la información relacional no es de fácil lectura en los formatos tabulares tradicionales. Ha surgido así una línea de trabajo e investigación dedicada al perfeccionamiento de técnicas de visualización para datos de carácter relacional, apoyados en técnicas visuales e interactivas de carácter informático.

A continuación se detallan las principales características de dos enfoques distintos en este área, los mapas de relaciones y el conocimiento emergente, y una descripción general del desarrollo actual en técnicas de visualización.

3.4.1. Análisis de redes sociales

El análisis de redes sociales es un conjunto de técnicas y metodologías que permiten la medición y análisis de las estructuras sociales que surgen de la interacción entre actores. El nivel de análisis puede ubicarse a diferentes niveles, como individuos, organizaciones o países. Se trata de un conjunto de técnicas para el estudio formal de las relaciones entre actores y para analizar las estructuras sociales que surgen de la recurrencia de esas relaciones o de la ocurrencia de determinados eventos.

La asunción básica del análisis de redes es que la explicación de los fenómenos mejora analizando las relaciones entre actores, estudiando la conducta de los individuos a nivel micro, los patrones de relaciones o la estructura de la red a nivel macro, y las interacciones entre los dos niveles. Esas relaciones surgen cuando diferentes organizaciones o individuos interactúan, se comunican, coinciden, o colaboran, a través de diversos procesos. Estas relaciones, además, pueden ser bilaterales o multilaterales; de este modo la estructura que emerge de la interrelación se traduce en la existencia de una red social. Las redes sociales son, por tanto, conjuntos de relaciones interpersonales que ligan individuos u organizaciones (Sanz, 2003).

La idea fundamental que sustenta el enfoque del análisis de redes es que las interacciones entre actores, además de reflejar los flujos de conocimiento y comunicación, tienen un impacto relevante en el comportamiento de los distintos agentes y, particularmente, en los procesos de aprendizaje. En particular, las redes sociales son a la vez causa y consecuencia de las conductas de esos actores. Las redes sociales crean y limitan las oportunidades para la elección individual y de las organizaciones. Al mismo tiempo, los actores mantienen y rompen relaciones y, de esa manera, determinan y transforman la estructura global de la red (Newman, 2001).

A efectos analíticos, la red es una construcción relacional basada en vínculos o lazos que unen actores (personas, grupos u organizaciones). Esas relaciones pueden ser presentadas en una matriz, que puede ser analizada con herramientas

propias del lenguaje matemático, el álgebra relacional y la teoría de grafos. De esta manera, las interacciones que se presentan en un sistema pueden ser cuantificadas, operadas y comparadas con cierta facilidad, convirtiéndose en una herramienta analítica que ofrece grandes posibilidades.

El análisis de redes sociales ha sido objeto de estudio empírico y teórico desde hace más de cincuenta años, en parte debido al interés académico sobre los patrones del comportamiento humano, pero también debido a que estas estructuras de interacción tienen implicancias importantes en cuestiones tan palpables como la difusión de la información o la propagación de una enfermedad. Por ejemplo, las variaciones en el promedio del número de relaciones interpersonales de una comunidad, fenómeno que puede ser medido como el grado promedio de una red, puede tener una influencia substancial sobre la propagación de un rumor o de un brote de gripe.

Uno de los más famosos estudios empíricos del análisis de redes fue realizado por Stanley Milgram en los años '60. En esa oportunidad, se pidió a una cantidad de sujetos aleatoriamente seleccionados en Nebraska, que hicieran llegar una carta a un agente de bolsa de Boston, amigo de Milgram. Las instrucciones eran que la carta debía llegar a su destinatario siendo pasada de persona en persona, pero siempre entre individuos que se conocieran personalmente. Dado que era poco probable que los sujetos conocieran al agente de bolsa, la carta debía ser pasada a alguna otra persona que creyeran más relacionada con él, ya sea geográficamente o por afinidad profesional.

Lo interesante de los resultados fue que una cantidad importante de las cartas llegaron a destino, y Milgram descubrió que en promedio sólo les llevó seis pasos llegar a destino. De este estudio surge la frase “seis grados de separación” (Milgram, 1967).

Las aplicaciones de las técnicas de análisis de redes sociales al dominio de la ciencia y la tecnología se han apuntado principalmente a observar los patrones de aprendizaje y colaboración de las comunidades científicas, buscando detectar las estructuras de poder e influencia. El análisis de una red de coautorías permite establecer indicadores cuantitativos de esa estructura. Por un lado, pueden ofrecer datos sobre las relaciones específicas de un investigador, mientras que por otro lado también es posible medir el nivel de cohesión de una comunidad a partir del número de las relaciones entre sus miembros.

Este tipo de investigaciones se inscribe en una tradición de estudios iniciada por D. J. Solla Price (1963), según la cual es posible identificar, a partir de las asociaciones y coautorías, la aparición de “Colegios Invisibles” o círculos de investigadores influenciados por unos pocos investigadores de alta productividad. En estos enfoques, los colegios invisibles son círculos sociales, en el sentido de que sus integrantes solamente conocen a una parte del total pero están influidos por personas con las que no están conectadas directamente (Molina, 2004).

Por conectividad se entiende la existencia de un camino que una a dos científicos en una dirección determinada, independientemente de su longitud. Por tanto, el énfasis de esta aproximación se centra en el establecimiento de la red total en la cual se hayan insertos los autores, sean conscientes o no, y en el cálculo de la conectividad existente.

El enfoque más difundido y adoptado para este tipo de estudios es el de las coautorías en artículos científicos (Barabási et al, 2001). Este tipo de estudios se han visto fuertemente facilitados por la disponibilidad de bases de datos informatizadas de referencias científicas, como por ejemplo el Science Citation Index o SCOPUS.

Las técnicas de análisis de redes han desarrollado diversas medidas cuantitativas para dar cuenta y comparar las estructuras de las redes en general y de la posición de los actores dentro de ellas en particular. Así, dependiendo de los objetivos, se puede centrar en análisis en las diferencias de estructura de las redes -y sus implicancias en la circulación y difusión del conocimiento-, en las conexiones entre agrupamientos de actores o en el rol desempeñado por determinados agentes, cuyo papel puede implicar una posición definida de poder en el flujo de la información dentro de la red.

Es así como, tradicionalmente, se distinguen dos aspectos en el esfuerzo por medir la estructura y organización de las redes. En primer lugar, el análisis de la estructura general de la red y el nivel de integración que la caracteriza. Para ello se identifican sus componentes y se analiza la densidad y la cohesión del conjunto. De la estructura general de la red son especialmente relevantes el grado de integración o cohesión. Existen para el análisis de estas propiedades un conjunto de categorías y procedimientos que describen la estructura, como por ejemplo la densidad, la unipolaridad, la integración o la centralización. Estos indicadores sirven sobre todo para el análisis comparativo de la cohesión relativa de diversas redes (Sanz, 2003).

El otro aspecto que se destaca es el estudio de la posición que cada uno de los actores ocupa en el conjunto de la red. Para ello se recurre habitualmente al análisis de la centralidad de los actores presentes en la red. Interesa en este caso dar cuenta de la posición que cada uno de los actores alcanza en la estructura general. Este enfoque está más relacionado con el poder que con otra categoría sociológica y las medidas básicas que representan estas propiedades de la centralidad de los actores en la red son el grado, la cercanía y mediación.

De esta manera, ambos enfoque en la medida de las características de las redes, relacionadas al estudio de la centralidad y cohesión, consideran el número de actores ligadas, el grado de exclusividad de los lazos y la posición de cada uno en el conjunto. Por lo tanto, en un contexto en el que la investigación científica se produce cada vez más en un espacio de colaboraciones múltiples, cambiantes y heterogéneas, el análisis de redes sociales ofrece un conjunto de herramientas de gran valor para el desarrollo de indicadores que den cuenta de estos fenómenos.

3.4.2. Minería de datos

La minería de datos, o Data Mining, consiste en la extracción de información que reside de manera implícita en un conjunto extenso de datos. Esa información era previamente desconocida y debe resultar útil para algún proceso. En otras palabras, la minería de datos prepara, sondea y explora los datos para sacar la información oculta en ellos (Two Crows, 1999).

Bajo el nombre de minería de datos se engloba todo un conjunto de técnicas encaminadas a la extracción de conocimiento, implícito en las bases de datos.

En sus orígenes estuvo fuertemente ligado con la supervisión de procesos industriales ya que resulta muy útil para aprovechar los datos almacenados como consecuencia de los procesos de producción. Sus bases teóricas se encuentran fuertemente ligados a técnicas de inteligencia artificial y análisis estadístico. Como resultado de la aplicación de estas técnicas, es posible formalizar modelos útiles para la solución de problemas de predicción, clasificación y segmentación.

Este tipo de procesamientos, también, es sólo posible por la disponibilidad de bases de datos informáticas de un volumen significativo, ya que los resultados son de mayor calidad en la medida en que se cuenta con cantidades masivas de registros. Al mismo tiempo, suelen requerir capacidades de procesamiento significativas y que pueden no estar al alcance del común de los usuarios.

Un proceso típico de minería de datos consta de los siguientes pasos generales:

1. Selección del conjunto de datos, tanto en lo que se refiere a las variables dependientes, como a las variables objetivo, como posiblemente al muestreo de los registros disponibles
2. Análisis de las propiedades de los datos, en especial los histogramas, diagramas de dispersión, presencia de valores atípicos y ausencia de datos (valores nulos)
3. Transformación del conjunto de datos de entrada, se realizará de diversas formas en función del análisis previo, con el objetivo de prepararlo para aplicar la técnica de minería de datos que mejor se adapte a los datos y al problema
4. Seleccionar y aplicar la técnica de minería de datos, se construye el modelo predictivo, de clasificación o segmentación
5. Evaluar los resultados contrastándolos con un conjunto de datos previamente reservado para validar la generalidad del modelo

Las técnicas de data mining son extremadamente sensibles a la parametrización de sus pasos, por lo que el análisis y procesamiento se realiza en ciclos iterativos hasta alcanzar los resultados deseados. Si el modelo final no fuera satisfactorio, el proceso se podría repetir desde el principio o a partir de cualquiera de los pasos anteriores. Esta retroalimentación se podrá repetir cuantas veces se considere necesario hasta obtener un modelo válido.

Una vez validado el modelo, proporcionando salidas adecuadas y con márgenes de error admisibles, éste ya está listo para su aplicación. Los modelos obtenidos por técnicas de minería de datos se aplican incorporándolos en los sistemas de análisis de información existentes.

Tradicionalmente, las técnicas de minería de datos se aplicaban sobre información contenida en datawarehouses. De hecho, muchas grandes empresas e instituciones han creado y alimentan bases de datos especialmente diseñadas para proyectos de minería de datos en las que centralizan información potencialmente útil de todas sus áreas de negocio. No obstante, las técnicas son perfectamente aplicables a fuentes de datos más desestructuradas, como archivos de texto o páginas web.

Actualmente, la minería de datos es una actividad en expansión aplicada cada vez en más disciplinas. Más allá de las aplicaciones más clásicas en gestión o en economía, este campo ha tenido un gran desarrollo, por ejemplo, en medicina, donde puede mostrar patrones entre enfermos y la evolución de epidemias en grandes poblaciones. También en disciplinas la astronomía, la bioinformática y la genética estas técnicas se aplican con éxito en el estudio de las grandes volúmenes de datos.

Específicamente en el campo de la información científica, la minería de datos presenta también una importante evolución. En particular, la utilización de este conjunto de algoritmos es de gran eficacia para superar errores y dificultades en la descripción y búsqueda de información sobre un tema. Básicamente, la aplicación de estas técnicas se centra en el análisis y cruce de datos mediante técnicas estadísticas para descubrir y establecer patrones y tendencias en los datos como ayuda a la toma de decisiones (Nicholson, 2006). Con ello se pueden realizar, por ejemplo, asociaciones entre elementos, clustering de datos con características similares y resúmenes de grandes volúmenes de datos que de otra manera resultarían inabarcables.

Por otra parte, las técnicas propias de la minería de datos pueden aplicarse a textos en lenguaje natural. A este procesamiento se lo conoce como minería de textos o text mining y consiste también en extraer información útil o novedosa a través de la identificación y exploración de patrones de interés (Feldman y Sanger, 2007). Sin embargo, en el caso del minado de texto estos patrones no se encuentran estructurados en registros de bases de datos sino que deben ser extraídos de los documentos a analizar. Es por esta razón que en el minado de texto resultan centrales las tareas de pre procesamiento de los documentos para el reconocimiento y extracción de características (features) representativas del lenguaje natural que los componen. Así se logra obtener información estructurada, que junto con las variables ya presentes en los metadatos de los documentos, puede ser analizada con técnicas comunes al minado de datos (clustering, reglas de asociación). Finalmente, se utilizan métodos de visualización de la información para mostrar los resultados, en forma de mapas y gráficos.

Los primeros trabajos de minería de textos aparecieron a mediados de los años '80, aunque por ser altamente intensivos en mano de obra no tuvieron gran difusión. La aparición de herramientas informáticas adecuadas y la masificación del soporte electrónico dieron el impulso actual a la aplicación de estas técnicas.

Las técnicas de minería de textos incorporan conocimiento de diversos campos de estudio, como la recuperación de información, el data mining, la inteligencia artificial y la estadística, pero también en gran medida de la lingüística. El aumento de la atención sobre este campo se centra en que, según se estima, más del 80 % de la información disponible hoy en día está almacenada en texto registrado en lenguaje natural. De allí el potencial de este campo para el análisis de datos en los más diversos dominios de información.

En el ámbito científico y tecnológico esto se verifica claramente, dado que los principales acervos de la investigación y el desarrollo quedan registrados en documentos almacenados en lenguaje natural: los artículos científico y las patentes industriales.

Una de las principales aplicaciones actuales en este terreno es la construcción de mapas conceptuales, o representaciones gráficas de la información contenida en

grandes cantidades de publicaciones o patentes. El contenido de una cantidad tal de documentos, cuya selección los hace representativos de un determinado tema o comunidad científica, no podrían ser observados manualmente por un analista.

Estas representaciones gráficas muestran los conceptos extraídos automáticamente del procesamiento automatizado de textos, la frecuencia de su aparición en el corpus de datos analizado y sus relaciones por coocurrencia en los textos observados. La utilidad de estos mapas, dependiendo del nivel de detalle que se les dé, se da a diferentes niveles. Con niveles de detalle menores puede obtenerse un panorama general del estudio actual en un campo que, con el asesoramiento de expertos, puede contribuir en la toma de decisiones a diferentes niveles en la política y gestión de la investigación. Si se le aplica un nivel de detalle mayor, en cambio, es posible detectar patrones de interés que permitan profundizar las indagaciones (recurriendo a los documentos que dan origen a los conceptos y relaciones) en el marco de la revisión bibliográfica propia de la investigación científica. En este último sentido, la aplicación tiene importantes superposiciones con el terreno de la recuperación de información.

3.4.3. Las herramientas de visualización, recurso necesario ante grandes dominios de información

La implementación de las técnicas anteriormente detalladas han requerido de un importante esfuerzo paralelo en el desarrollo de técnicas de visualización de la información. A diferencia de la información atributiva, que es fácilmente representable en tabulados clásico, la información relacional es difícil de apreciar sin la utilización de recursos gráficos y de un importante esfuerzo de síntesis visual.

Visualizar es una tarea del comunicador visual, que transforma datos abstractos y fenómenos complejos de la realidad en mensajes visibles, haciendo posible que los individuos vean con sus propios ojos datos y fenómenos que son directamente inaprehensibles, y por tanto comprendan la información que yace oculta (Moya et al, 2004). Al mismo tiempo, la existencia de una infinidad de metáforas gráficas para dar cuenta de procesos cognitivos (tener ideas claras, poner algo en foco, acomodar el pensamiento) da cuenta de una estrecha relación entre lo que vemos y lo que pensamos (Card et al, 1999).

La visualización de la información va más allá de la aplicación de técnicas estadísticas y algoritmos informáticos a la presentación gráfica de datos. Se trata, principalmente de generar un lenguaje, común con el receptor, basado en colores, formas, líneas y jerarquías capaces de comunicar clara y apropiadamente la información (Norman, 1993).

Pueden identificarse dos propósitos en la visualización de la información. Por un lado, comunicar una idea, (“una imagen vale más que mil palabras”). Por el otro, permitir que el surgimiento de ideas, utilizando las herramientas gráficas para, mediante la percepción visual, resolver problemas lógicos (Card et al, 1999).

Estas ideas no son, sin embargo, novedosas. Lo que les da una mayor actualidad hoy en día es la sinergia generada con el desarrollo de las tecnologías informáticas

que generan un sinnúmero de nuevas posibilidades, como la integración sencilla de imágenes en los diferentes medios de comunicación y la interactividad de los usuarios con las imágenes. Por otra parte, todo esto es posible a costos relativamente bajos y al alcance de usuarios no demasiado especializados.

A partir de los años '90, con la aparición de nuevos métodos de recopilación de información, así como de nuevas técnicas para el análisis, visualización y posicionamiento espacial, de la información, comienzan a proliferar los estudios basados en técnicas de visualización de la estructura de dominios científicos. Estos trabajos han tomado diferentes vertientes a lo largo del tiempo, estableciendo relaciones a partir de diferentes tipos de información contenida en los documentos científicos. Así, por ejemplo, se ha utilizado la coautoría, la citación conjunta de autores o disciplinas, así como la aparición conjunta de palabras.

En resumen, los mapas o visualizaciones de dominios se están utilizando en la actualidad para mostrar relaciones entre documentos, detectar los autores más importantes de una determinada disciplina, o analizar la estructura de un área de conocimiento, y su evolución mediante su representación en sucesivos espacios temporales. Para ello se utiliza una combinación de técnicas como clustering, análisis de factores, o redes sociales basadas en modelos de grafos, cada una de ellas por separado o combinadas de forma indistinta.

Sin embargo, si bien existe un gran potencial para el desarrollo de técnicas de visualización en el campo científico y tecnológico, existen también desafíos que es necesario abordar. Las interfaces de los diferentes modelos de representación presentan aún algunas limitaciones como consecuencia de que el usuario no comprende bien lo que está viendo, por lo que es necesario que se trabaje fuertemente en la transparencia de estos sistemas. De lo contrario, las conclusiones a las que pueden abordar los usuarios pueden estar distorsionadas por características propias de las herramientas que están utilizando o de los parámetros puntuales que se apliquen.

Capítulo 4

Cambios en las dinámicas de investigación y su reflejo en las demandas de información

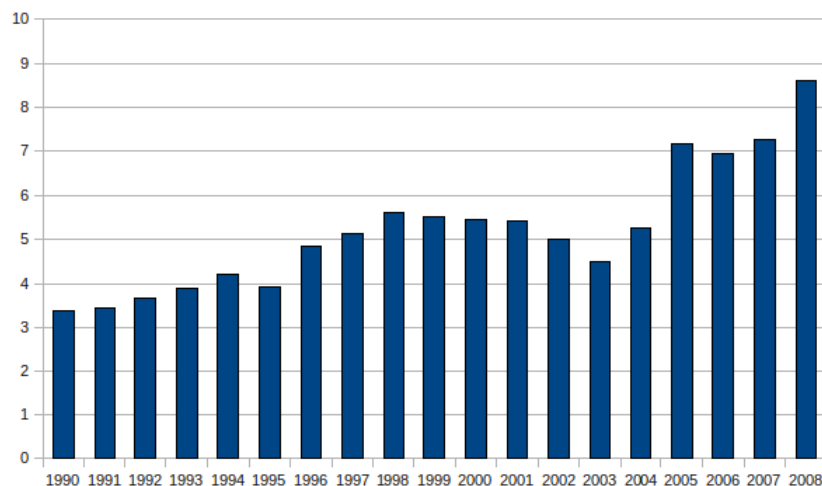
Ya en los años '60, los trabajos pioneros de Derek De Solla Price (1963) planteaban la colaboración entre investigadores como una parte central de su actividad y destacaba que estos vínculos solían traspasar los límites formales e institucionales que enmarcan la actividad científica. Asimismo, Price preveía un crecimiento exponencial en las tasas de colaboración científica, como consecuencia del crecimiento acelerado de las comunidades científicas.

Este crecimiento en la colaboración entre investigadores se puede ver reflejado en los patrones de autoría conjunta en artículos científicos. El fenómeno se aprecia incluso en períodos cortos. La figura 4.1 presenta el promedio de la cantidad de autores por artículo, en la producción argentina en Science Citation Index entre 1990 y 2008. Este indicador pasa de 3,38 en 1990 a 8,61 en 2008, con un crecimiento de 2,5 veces su valor inicial.

Esta extensión de los procesos de colaboración no se da exclusivamente a nivel nacional, sino que se extiende claramente más allá de las fronteras. El crecimiento de las publicaciones firmadas conjuntamente por instituciones de más de un país da cuenta del crecimiento de este fenómeno. Según los datos del Science Citation Index, en 1990 se indexaron 51.596 registros con coautoría internacional, mientras que en 2000 el número había ascendido a 121.432 (Wagner, 2003). Entre las causas de este fenómeno se cuenta, además de la proliferación masiva de los medios de comunicación electrónica, una creciente especialización de los campos científicos y el aumento del financiamiento público a la I+D ya mencionados por Price, siguiendo patrones geográficos preexistentes (de proximidad geográfica o cultural) y dinámicas de acceso a la corriente principal de la ciencia, que impulsan a los pequeños a colaborar con los líderes.

El fenómeno puede observarse claramente dentro de la producción científica argentina en SCI de los últimos años. Mientras que en 1990 sólo el 15 % de las publicaciones tenían participación de extranjeros, el porcentaje aumenta marcadamente desde 1997 para culminar abarcando el 42 % en 2008.

Figura 4.1: Promedio de la cantidad de autores por artículos con participación argentina SCI 1990-2008



En este contexto, han proliferado en los últimos años distintos enfoques sobre la forma en que se produce el conocimiento que valoran sobre todo las interacciones entre actores. Los casos más resaltados son los de el Modo2 de producción de conocimiento (Gibbons, 1997), que enfocado en los contextos de aplicación rompe las estructuras tradicionales institucionales y de disciplinas para conformar grupos heterogéneos y transitorios, y de la Triple Hélice (Leydesdorff y Etzkowitz, 1996), en el que lo más importante son las relaciones entre universidad, industria y gobierno. Algo similar ocurre con los procesos de innovación, que empiezan a pensarse en un modelo de sistemas nacionales, privilegiando la mirada sobre la interacción diferentes actores (Nelson, 1993).

En ese marco, la organización de la investigación tiende a centrarse en la conformación de redes. De la mano de la mayor relevancia del conocimiento como fuerza de producción, los propios modos de creación del saber atraviesan transformaciones (Albornoz, 2006). En efecto, la producción de conocimiento tiende a desarrollarse en el marco de nuevas formas de organización, más flexibles y dinámicas. Se trata de configuraciones en las que participan ya no sólo científicos y académicos, sino también aquellos que mediante la aplicación de los conocimientos buscan soluciones a problemas específicos. Junto con ello, la internacionalización de la ciencia, potenciada por la aplicación a gran escala de las tecnologías de la información y la comunicación, constituyen el marco general en el que han nacido y se han desarrollado las redes de conocimiento.

En sintonía con lo descrito por Gibbons, esta nueva forma de organización de la investigación, el trabajo en red, es el resultado de la adopción de formas flexibles y participativas de organización, implementadas a la hora de crear y aplicar los conocimientos a la solución de problemas. En efecto, las redes de conocimiento son las configuraciones en las que se conjugan muchas de las características mencionadas: en ellas, actores de diversas procedencias se relacionan a fin de abordar problemas concretos y proponer soluciones, poniendo en juego para ello sus capacidades y buscando, por este medio, complementarlas.

Los nuevos entramados acompañan en el plano de la creación e intercambio de conocimiento al viejo modelo “fordista”, basado en grandes infraestructuras y en concentraciones de investigadores que permitieran lograr una cierta masa crítica para el abordaje de problemas relacionados con el saber. En un mundo de sistemas abiertos y flexibles, tal modelo tiende a revelarse como obsoleto, más aún si se tiene en cuenta la necesidad de complementación de conocimientos que reclama la solución de problemas de alta complejidad, muchas veces relacionados directamente con la solución de problemas sociales y económicos concretos. Específicamente, en contextos como el de América Latina, particularmente en lo que hace a la dimensión institucional, la vieja estrategia se vuelve progresivamente inviable y la adopción de nuevos modelos tiende a aparecer como una necesidad acuciante, dado que ningún país tiene la masa crítica suficiente en ciencia y tecnología como para desarrollar estrategias sin tomar en cuenta a los demás (Albornoz, 2006).

Distintos estudios, planteados desde un nivel más micro, abordan las ventajas que ofrece la colaboración en los procesos de investigación y desarrollo, señalando que se ha dado la conformación gradual de una nueva forma de organización de la investigación científica, en el marco de la “ciencia grande”, y cuyo rasgo particular es la colaboración dentro y fuera de las unidades que realizan I+D (Beaver, 2001; Leydesdorff y Etzkowitz, 1996).

En ese sentido, entre las ventajas del trabajo colaborativo pueden identificarse:

- Eficiencia: muchas manos hacen el trabajo más liviano
- Diversificación: la posibilidad de participar en un número mayor de proyectos, optimizando las posibilidades de obtener financiamiento
- Velocidad: el abordaje paralelo de cuestiones parciales de un problema permite finalizar más rápidamente un trabajo
- Amplitud: se pueden abordar temas más extensos y por tanto más interesantes
- Sinergia: múltiples puntos de vista impulsan y enriquecen, haciendo el trabajo más intenso
- Reducción del riesgo: no poner todos los huevos en la misma canasta
- Simultaneidad: participando en diversos proyectos de manera simultánea se incrementan las posibilidades de sostener el financiamiento del grupo
- Precisión: los errores se detectan más rápidamente cuando diversos individuos, con perspectivas diferentes, discuten una cuestión
- Diseminación: se facilita una comunicación más amplia de los resultados (congresos, seminarios, etc), gracias al mayor número de participantes

Este incremento de colaboración como aspecto fundamental de la actividad científica y tecnológica se observa claramente también a nivel internacional. Por ejemplo, se pueden observar cuantitativamente en los patrones de colaboración internacional que ofrecen los indicadores bibliométricos. En ellos es posible apreciar que los países en desarrollo colaboran, porcentualmente, mucho más que los

países desarrollados. Esto se da al punto de que es común ver en los países latinoamericanos como los artículos en colaboración internacional superan ampliamente a los de autoría exclusivamente local.

Esa necesidad de aumentar la escala en los países en desarrollo hace que el trabajo en colaboración aparezca como una estrategia adecuada para agregar capacidades, realizar acciones de cooperación y potenciar, así, la creación y puesta en común de saberes. En este marco, el protagonismo de las redes en los procesos de generación de conocimientos, junto con su multiplicación e internacionalización, deben ser consideradas por las dinámicas e impactos que vienen aparejados a este modo de establecer relaciones y abordar el trabajo tendiente a la creación de saber científico y tecnológico.

4.1. La colaboración científica como política pública

La importancia de este cambio no es de carácter descriptivo, sino que tiene un fuerte impacto sobre las políticas de ciencia, tecnología e innovación que se adopten. La comprensión y profundización de estos aspectos pueden proporcionar informaciones relevantes para aumentar la eficacia y favorecer la constitución de redes como instrumentos de cooperación internacional y de crecimiento de la ciencia y la tecnología.

Existen así una gran cantidad de esfuerzos formales para fortalecer la colaboración internacional, tanto entre países desarrollados como en vías de desarrollo, y que son parte de una estrategia de posicionamiento internacional y una cara importante de las políticas científicas y tecnológicas de los países.

En los países desarrollados existe un esfuerzo explícito de los estados por ampliar los recursos destinados a la ciencia y la tecnología y brindar incentivos a la conformación de entornos de producción de conocimientos. Las empresas, a su vez, también se empeñan en desarrollar actividades de innovación y, como consecuencia de ello, tienden a ampliar los presupuestos asignados a sus departamentos de investigación y desarrollo. Ambos, estados y empresas, compiten por captar a científicos, tecnólogos y personal altamente calificado, procurando simultáneamente favorecer los contactos con instituciones académicas para crear mecanismos por los que el conocimiento circule y se potencie (Albornoz, 2006).

Un caso paradigmático de políticas públicas orientadas a la colaboración es el de ERA-NET, un programa originado a partir de la estrategia de Lisboa de la Unión Europea y que tiene por objetivo la conformación de una Área Europea de Investigación, ERA según sus siglas en inglés. El origen de la idea data del año 2000, sobre la base de la necesidad de actuar sobre la falta de un ambiente que estimulara la realización y el aprovechamiento transnacional de los proyectos de I+D (UE, 2000).

En ese contexto, buscando generar programas europeos diseñados e implementados para superar estas debilidades, el 6° Programa Marco tuvo como una de sus metas contribuir a la creación del ERA, mejorando la coordinación y cooperación de políticas y programas de I+D nacionales en los países miembros de la

Comunidad. En ese sentido, el esquema de ERA-NET apoyó la conformación de redes entre instituciones de los diversos países asociados al 6° Programa Marco. Fue la primera oportunidad en que los investigadores tuvieron la oportunidad de integrarse a esfuerzos de cooperación internacional con el respaldo de fondos de la Comunidad Europea.

Los resultados de estas políticas tendientes a promover la colaboración se ven tanto en el largo como en el corto plazo. Según los primeros estudios de evaluación e impacto del programa, se pueden observar cambios importantes en las prácticas científicas, como por ejemplo una difusión sin precedentes de la utilización de evaluadores internacionales, lo que se supone generará un aumento en la calidad de la investigación ya incluso en el corto plazo.

Estos estudios también han buscado dar cuenta de la adicionalidad generada por la implementación de políticas de sustento y promoción de la investigación colaborativa, es decir aquellos resultados que no hubieran sido posibles sin ellas. Resultados de estudios de caso y encuestas señalan que gran parte de las actividades transnacionales llevadas adelante en ese lapso no hubieran sido posibles sin el financiamiento que se dedicó a ellas.

Los procesos de evaluación realizados señalan también que se pueden apreciar cambios en la percepción de los beneficios de la colaboración por parte de los tomadores de decisión, lo que demostraría una apreciación positiva por parte de los mismos con respecto a las actividades de colaboración desarrolladas. Esto quedó plasmado en un mayor compromiso de los países en el financiamiento de actividades de cooperación: más de mil millones de Euros fueron destinados por los gobiernos nacionales a actividades colaborativas en 2008, superando los seiscientos millones financiados en 2006 en el mismo rubro (UE, 2009).

En el caso de América Latina, existe una experiencia interesante en materia de trabajo en redes, más allá del atraso relativo que en muchos casos muestran sus sistemas e instituciones de ciencia y tecnología. Como particularidad, señala que, paradójicamente, es este mismo atraso el que ha potenciado la puesta en común de capacidades para el abordaje y la resolución de inquietudes comunes. En ese sentido, la sociedad del conocimiento, y las formas de organización de la producción de saberes que trae aparejada, plantea un gran desafío a los países de América Latina, que necesariamente deberá reflejarse en políticas puntuales para la gestión de la ciencia, la tecnología y la innovación (Albornoz, 2006).

Este desafío tiene dos aspectos. Por un lado, las ventajas y desventajas relacionadas con la colaboración en materia de ciencia y tecnología con los países desarrollados. Por el otro, las potencialidades y dificultades de la conformación de un espacio latinoamericano de investigación.

En cuanto a la colaboración con los países desarrollados, existen diversas maneras en las que los países en desarrollo se pueden beneficiar de la colaboración con los países industrializados. En primer lugar, dado que el desarrollo científico tiende a concentrarse en unos pocos países, la colaboración científica y académica resulta un camino privilegiado para acceder a ese conocimiento, aprehenderlo y aplicarlo a problemas del ámbito local. En segundo lugar, estas interacciones con países más avanzados en el terreno científico permiten consolidar las capacidades locales (Oldham, 2005).

Finalmente, dados los costos necesarios para la construcción de infraestructura y grandes equipamientos, la colaboración internacional resulta un camino posible para acceder a este tipo de instalaciones en países que no cuentan con ellas. Al mismo tiempo, la colaboración internacional facilita -o incluso puede ser indispensable- para la obtención de fondos de financiamiento extranjeros.

Al mismo tiempo, los investigadores de países desarrollados encuentran ventajas en colaborar con sus colegas en los países en desarrollo. Puede tratarse de los beneficios de interactuar con colegas que cuenten con capacidades específicas, pero también para acceder a regiones geográficas o condiciones ambientales determinadas y favorables para ciertos trabajos de investigación.

Como contraparte, pueden existir también ciertas desventajas potenciales en el trabajo colaborativo entre países desarrollados y en desarrollo. Por ejemplo, una cierta disparidad entre los socios puede llevar a los más débiles a perder el control de las actividades y los resultados. De esta manera, los proyectos de colaboración pueden tener poco impacto en la formación de capacidades locales y, a la vez, dar lugar al crecimiento de la fuga de cerebros (Oldham, 2005).

Por otra parte, este tipo de comportamiento desigual puede llevar a que la agenda de investigación de los países en desarrollo sea modificada para poder participar en proyectos de colaboración, diseñados por investigadores de los países más desarrollados, y que cuentan con un financiamiento muy significativo en el contexto de la inversión de los países de menor desarrollo relativo. Todos estos aspectos potencialmente negativos también deben ser tenidos en cuenta para el desarrollo de políticas públicas de colaboración. Más aún, la ausencia de políticas explícitas en este sentido pueden facilitar que estos problemas potenciales aparezcan en la práctica.

El otro aspecto de la colaboración en los países latinoamericanos es el impulso a las actividades conjuntas entre los países de mayor y menor desarrollo relativo dentro de la región. El impulso a la constitución de redes que aglutinen a científicos, tecnólogos, e incluso empresas y otros actores sociales involucrados en la producción y utilización de conocimientos es un punto central de las estrategias de cooperación más actuales en toda la región.

La generación de estas redes a escala regional cuenta ya con importantes antecedentes en América Latina. Actualmente, la generalización y la disponibilidad de recursos de información y comunicación favorece la creación de una “masa crítica virtual” que multiplique la capacidad de producción de conocimientos y la inserción de los investigadores latinoamericanos en la comunidad científica mundial.

Esta masa crítica es vital en los emprendimientos de gran envergadura. En ese sentido, es posible pensar que América Latina no debería abandonar ciertos campos de la “big science” debido a su importancia estratégica en el futuro, con el propósito de lograr ciertos grados de autonomía científica y tecnológica que le permitan insertarse más equilibradamente en el escenario global. Para ello, debe ser capaz de aprovechar adecuadamente las fortalezas que, en determinadas áreas del conocimiento, han sido acumuladas por algunos países de la región. Temas como las energías (incluyendo la energía nuclear), las actividades aeronáuticas y espaciales, la biotecnología, la nanotecnología y las TIC, por ejemplo, deben dar lugar a la creación de centros o programas de carácter regional y subregional (Albornoz, 2006).

Iniciativas de este tipo, a nivel regional, no son una novedad absoluta. Existen experiencias previas como el caso del programa latinoamericano de metalurgia apoyado desde hace décadas por OEA. La experiencia de los grandes centros europeos, descrita anteriormente, muchos de los cuales constituyen complejos entramados científicos, tecnológicos e industriales debe ser también tomada en cuenta en la políticas regionales. En algunos campos que en la actualidad aparecen como estratégicos, como por ejemplo la tecnología energética y aeroespacial, existe además un capital muy valioso en la región: una base científica numerosa y calificada en países como Argentina, Brasil, Chile y México.

Otros campos, como las tecnologías de aplicación de la informática y las telecomunicaciones pueden ser adecuados para el desarrollo de emprendimientos conjuntos de naturaleza tecnológica y productiva con amplia difusión social. El principal potencial de estos emprendimientos recae también en que permitirían involucrar a pequeñas y medianas empresas de base tecnológica, brindándoles acceso a tecnologías modernas y a mercados ampliados, y fomentando la actividad del sector privado, una vieja cuenta pendiente en la región.

Finalmente, la inversión en grandes equipamientos científicos de alto costo puede adquirir pleno sentido en un marco de aprovechamiento a escala regional. Alrededor de estos equipos, instalados con sentido estratégico en distintos países, con el carácter de centros regionales, es posible estructurar redes científicas del más alto nivel que cuenten, a partir de las facilidades comunes, con los medios necesarios para desarrollar investigaciones en la frontera del conocimiento.

Existen ya en funcionamiento emprendimientos de este tipo, que están logrando interesantes resultados. Dos ejemplos son el Centro Argentino Brasileño de Biotecnología (CABBIO) y el Centro Argentino Brasileño de Nanociencia y Nanotecnología (CABNN). El primero de ellos fue el CABBIO, creado en 1987, y con intensas actividades desde aquel momento. El CABNN, en cambio, es más reciente -fue creado en 2005- pero sus actividades están teniendo un crecimiento sostenido.

Resumiendo las cuestiones planteadas hasta el momento, existe un cierto consenso sobre la relevancia de la colaboración en las políticas de ciencia y tecnología (UE, 2000; OCDE, 2004; OCDE, 1997b), considerando que es en esas interacciones donde se generan y utilizan los conocimientos producidos. De esta manera, desde el punto de vista de las políticas públicas, es central considerar el impacto de las acciones sobre el conjunto del sistema de ciencia, tecnología e innovación (Sanz Menéndez, 2003).

De esta manera, para el monitoreo y gestión de este tipo de políticas sistémicas se requiere identificar metas y diseñar estrategias que impliquen la participación de tomadores de decisión en diferentes ámbitos, así como la priorización de áreas específicas en las que se dispone de ciertas capacidades o ventajas comparativas. Una vez desarrollada esa estrategia es también importante contar con los medios para administrar estas iniciativas adecuadamente, incluyendo los recursos económicos necesarios para financiarlas. En ese contexto, la disponibilidad de información cualitativa y cuantitativa resulta crítica para la gestión y el monitoreo de resultados e impactos.

Sin embargo los indicadores comunmente utilizados para monitorear este tipo de políticas siguen siendo de carácter atributivo, en la línea de las distintas familias

de indicadores ya conocidas, o una serie de representaciones gráficas de redes, sin una cuantificación significativa que permita su ponderación y comparación institucional, territorial o temporal.

Es en ese contexto en que una familia de indicadores basados en la información relacional disponible en distintas fuentes sería de utilidad, como una herramienta más a medida de las necesidades de la toma de decisiones en el marco de políticas orientadas al fomento y gestión de la colaboración entre los diferentes agentes del sistema de investigación, desarrollo e innovación.

4.2. El análisis de redes sociales como base teórica para indicadores relacionales

Para el desarrollo de indicadores que permitan cuantificar la información relacional disponible en las fuentes de datos sobre ciencia, tecnología e innovación, es posible recurrir a la base teórica que ofrece el análisis de redes sociales (ARS). Se trata de un conjunto de técnicas para el estudio formal de relaciones entre agentes y de las estructuras sociales que emergen de esas relaciones.

El análisis de redes comienza prestando atención especial al estudio de las estructuras sociales insistiendo, por tanto, menos en por qué la gente hace lo que hace y más en la comprensión de los condicionantes estructurales de sus acciones. La asunción básica del análisis de redes es que la explicación de los fenómenos sociales mejoraría analizando las relaciones entre actores. El análisis de redes sociales generalmente estudia la conducta de los individuos a nivel micro, los patrones de relaciones (la estructura de la red) a nivel macro, y las interacciones entre los dos niveles. En el análisis de redes se describen y estudian las estructuras relacionales que surgen cuando diferentes organizaciones o individuos interactúan, se comunican, coinciden y colaboran, a través de diversos procesos que pueden ser bilaterales o multilaterales. De este modo la estructura que emerge de la interrelación se traduce en la existencia de una red social. Las redes sociales son, por tanto, conjuntos de relaciones sociales o interpersonales que ligán individuos u organizaciones en “grupos” (Sanz Menéndez, 2003).

El objeto de estudio del ARS recae en las estructuras relacionales que surgen de la interacción entre los distintos actores y que tienen como resultado propiedades específicas que ayudan a comprender, por ejemplo las formas de difusión de la información o la distribución de poder dentro del conjunto de actores estudiado. Asimismo, esta capacidad de análisis puede ser de gran utilidad para predecir y gestionar la aplicación de políticas determinadas en un sistema de relaciones preexistentes.

Específicamente, el ARS pretende analizar las formas en que individuos u organizaciones se conectan o están vinculados, con el objetivo de determinar la estructura general de la red, sus grupos y la posición de los individuos u organizaciones singulares en la misma, de modo que se profundice en las estructuras sociales que subyacen a los flujos de conocimiento o información, a los intercambios, o al poder (Sanz Menéndez, 2003).

El sustento teórico del análisis de redes sociales está en la teoría de grafos, cuyos primeros resultados datan de 1736 con el problema de los puentes de Königsberg

estudiado por Leonhard Euler. Se trata de del estudio de las propiedades de los grafos, entendidos como conjuntos de vértices o nodos y las relaciones entre ellos, llamadas aristas o lazos, que pueden ser orientados o no. Esta teoría matemática tiene su principal aplicación en las ciencias de la computación, aunque su uso ha desbordado a una gran variedad de disciplinas, incluida las sociología y la antropología.

Con fines analíticos, puede afirmarse que la teoría de grafos ha sido muy útil para el análisis de redes sociales principalmente por tres razones. En primer lugar, dado que cuenta con un vocabulario que puede ser utilizado para analizar muchas propiedades de las estructuras sociales. En segundo lugar, porque ofrece las operaciones matemáticas por las cuales esas propiedades pueden analizarse y medirse. Y, por último, dado que permite probar teoremas sobre los grafos y, por tanto, deducir y someter a test determinados enunciado (Wasserman y Faust, 1994)

En ese contexto, la idea de medir con el sustento de la teoría de grafos las características de las relaciones entre múltiples actores implica la noción de que las interacciones entre individuos, en el marco de una red social, reflejan los flujos de información y conocimiento, con un impacto central en el comportamiento de los participantes y de los procesos de aprendizaje y producción de conocimiento que se dan en ese contexto. Por otra parte, las relaciones entabladas por los actores de una red tienen como consecuencia estructuras globales que condicionan al conjunto de manera sistémica y no a cada uno en particular.

En ese sentido, existen innumerables estudios que buscan dar cuenta de la manera en que las propiedades estructurales de las redes sociales afectan la conducta de los participantes en un sentido que sobrepasa las normativas existentes, las características personales y las relaciones bilaterales. En ese sentido, se concentran en estudiar cómo los patrones de lazos en las redes generan oportunidades significativas y restricciones que afectan el acceso de la gente y las instituciones a recursos tales como la información, la riqueza o el poder.

Puede identificarse en el análisis de redes sociales la convergencia de tres grandes tradiciones de las ciencias sociales: el concepto antropológico de “red social”, la concepción sociológica de la estructura social como una red y las explicaciones “estructurales” del proceso político (Sanz Menéndez, 2003).

Por otra parte, ya en el terreno específico de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología, el estudio sobre los colegios invisibles (Crane, 1972) fue uno de los primeros trabajos que utilizó la idea de las redes de comunicación entre científicos como forma de explicar el crecimiento del conocimiento científico. El carácter fundacional de ese trabajo reside también en que se ubica a las redes en el papel de mecanismos de comunicación, transmisión de información y aprendizaje, en los que se da la producción de conocimiento y que están sujetas también a estructuras de poder definidas. Desde entonces, el fenómeno de las redes de colaboración se ha aplicado al estudio de la ciencia, la tecnología o la innovación desde diversas perspectivas.

Sin embargo, los campos de aplicación de las técnicas de ARS son hoy en día significativamente extensos (Molina, 2004). El primero de ellos el de la salud, sobre todo en temas relacionados con la salud pública y la epidemiología. Los casos más conocidos están relacionados con el estudio de la difusión de las enfermedades como el SIDA, donde el volumen de investigaciones es más alto. Estos

estudios intentan establecer el tamaño y las características de estas poblaciones ocultas así como las probabilidades de contagio con diferentes relaciones de riesgo.

En un enfoque más sociológico, se han realizados trabajos que intentan promover nuevas prácticas de salud, entre poblaciones con altos niveles de morbilidad, en los que la estrategia adoptada consiste en identificar los agentes más influyentes a partir de nominaciones de personas a las que se consulta en temas de salud. A partir de esa detección de agentes clave, se intenta trabajar con ellos para que actúen como difusores de prácticas beneficiosas. Por ejemplo, Valente (1995) ha mostrado cómo la difusión de las nuevas prácticas es más rápida si los puntos de partida son estas personas “centrales” en las redes locales.

Otro uso fructífero de este enfoque es el análisis de las cadenas migratorias o de las sucesivas oleadas de inmigrantes (Jariego, 1999). La información de la composición étnica de una red y su grado de especialización es altamente informativo de los niveles de “integración” y de las oportunidades de desarrollo de una persona inmigrante.

Relacionado con este campo está el célebre concepto de “capital social” (Lin et al, 2001). Una aplicación de este concepto es la hipótesis de los “lazos débiles” (Granovetter, 1973), cuya idea básica es que las personas tienen a su alrededor un núcleo fuerte de lazos que le proporcionan la información, los recursos y el soporte emocional que necesitan. Este núcleo fuerte está constituido por un número reducido de personas con las que se mantiene un contacto frecuente. Al lado de este núcleo existen una cantidad de contactos dispersos con los cuales la relación es más débil y especializada. Son los “conocidos”, personas que no forman parte del núcleo fuerte pero sí de la red personal.

4.3. Medidas básicas de análisis de redes y su utilidad para la construcción de indicadores

La fortaleza del enfoque del análisis de redes sociales en esta diversidad de campos reside en que permite la representación formalizada de esas relaciones, a partir de algoritmos relativamente estandarizados. Tan importante es poder representar gráficamente la forma de la red de actores, esto es, la estructura social subyacente, como poder medir y establecer índices algébricos que representen sistemáticamente propiedades de la estructura, o las situaciones de determinados actores o grupos de ellos en el conjunto de la red, a partir de nodos y vínculos (Sanz Menéndez, 2003).

Como ya se ha mencionado, en un contexto en que la investigación es cada vez más una tarea colaborativa y en el marco de políticas orientadas a fortalecer esa tendencia, el análisis de los sistemas de ciencia, tecnología e innovación no puede verse como una simple agregación de resultados individuales.

Para ello, pueden tomarse las herramientas básicas del ARS, y que apuntan al estudio de las propiedades de las redes en general y de la posición ocupada por cada actor en particular. En el primer caso, interesa especialmente la reflexión sobre el grado de integración o la cohesión general. En el segundo, conocer la

posición que cada actor en la red puede dar cuenta de la “centralidad” de los mismos.

La medida más utilizada para dar cuenta de la estructura de la red es la densidad. Se trata del número de vínculos que se establecen entre los nodos con relación a un número máximo que pudiera establecerse si todos los actores estuvieran conectados directamente por una línea con todos los demás.

Las medidas de centralidad de los actores son diversas. Cada una tiene su propia interpretación, pero en líneas generales están siempre asociadas a la influencia o la relevancia que tiene ese actor para el conjunto de la estructura en el flujo de información. Al medir la centralidad de un actor, no es lo mismo si decimos que éste tiene muchas conexiones directas con otros puntos en su entorno inmediato, que si decimos que el actor juega un papel clave en el conjunto de la red, por ejemplo siendo la conexión entre dos subgrupos de la misma. La primera aproximación, que se denomina centralidad local, se refiere a la relevancia de un determinado actor con relación a su entorno próximo con el que tiene lazos directos. Mientras que la segunda, denominada centralidad global, se refiere a la prominencia de un actor en relación con el conjunto de la red.

Existen al menos tres enfoques de la centralidad, todos muy difundidos y, de cara al análisis de los fenómenos que se dan en una red, perfectamente complementarios. Estos son el grado, la cercanía y la intermediación (Freeman, 1979).

El grado se define como el número de otros actores a los cuales un actor está directamente unido o es adyacente. Esta medida de centralidad, la más sencilla, organiza a los actores por el número efectivo de sus relaciones directas en el conjunto de la red. Esta medida trata de la centralidad local de un actor con respecto a los actores cercanos, pero dice poco sobre la importancia del actor en la red completa, y es muy sensible a variables como el tamaño del grafo. El grado normalizado es la proporción de relaciones reales sobre el total de relaciones posibles y permite eliminar en cierta medida las distorsiones introducidas por el tamaño de las redes y favorece las miradas comparativas.

La centralidad vista como cercanía se refiere a la propiedad por la cual un actor puede tener relaciones con otros actores, pero a través de un pequeño número de pasos en la red. La medida de cercanía describe mejor la centralidad general. En este caso los actores son valorados por su distancia medida en pasos, por otros vértices o nodos, a todos los demás actores de la red. Son tanto más centrales cuanto mayor es el valor de su valor de cercanía, esto es, menor es el número de pasos que a través de la red deben dar para relacionarse con el resto.

Dependiendo del contexto, la cercanía mide la independencia o autonomía respecto de los otros y puede servir, junto con la mediación, para precisar o matizar la relevancia del valor del grado, ya que se refiere al punto en el que actor está próximo a todos los demás (Borgatti, 1996).

Finalmente, la centralidad vista como mediación define como el nivel en que otros actores deben pasar a través de un actor focal para comunicarse con el resto de los miembros de la red. La mediación sintetiza, por su parte, el control que cada uno de los actores tiene de los flujos relacionales en el conjunto de la red. El valor de la mediación para un actor mide la proporción de las geodésicas, los caminos más cortos entre dos actores cualesquiera del grafo, que pasan por él

como vértice. Suelen tener valores altos de mediación los actores más centrales de la red según su cercanía, o aquellos que vinculan subgrupos o bloques diferentes.

Mediación se refiere al hecho de que unos actores están entre otros, en sus vías de comunicación; los actores centrales, desde este punto de vista, serían los intermediarios del acceso de otros a la información y el conocimiento. Una combinación de valores altos de mediación y cercanía sugiere actores muy importantes en el conjunto de la red (Freeman et al, 1991).

A continuación se presenta el análisis de dos casos específicos, en áreas de carácter interdisciplinario, con la aplicación de análisis de redes sociales, en combinación con indicadores bibliométricos y de patentes tradicionales, en el dominio de la información científica y tecnológica.

Capítulo 5

Abriendo la caja negra de la investigación científica y el desarrollo tecnológico. El caso de la nanotecnología iberoamericana

Ciertas características de la producción de conocimiento en nanotecnología convierten a este campo en uno privilegiado para poner en práctica herramientas de análisis de información, tanto aquellas que aprovechan la información atributiva, como aquellas que se basan en la explotación de información relacional. El crecimiento acelerado de la nanotecnología, como el entramado de redes generado por su desarrollo internacional y sus puentes interdisciplinarios, ofrecen posibilidades muy ricas para un ejercicio de esas características.

El objetivo de este ejercicio es demostrar la aplicabilidad de indicadores relacionales, que en conjunto con indicadores tradicionales puede ofrecer pistas sobre las dinámicas internas de los sistemas de ciencia y tecnología, que quedan veladas en las familias de indicadores disponibles actualmente, como los de la Familia Frascati.

Alcanzar este objetivo, que ya aparecía como una ambición en los estudios de Derek de Solla Price (Price, 1963) y su recuperación de la metáfora de Boyle sobre los colegios invisibles, permitiría contar con herramientas de gran utilidad para la toma de decisiones, en un contexto histórico de las políticas públicas de ciencia y tecnología en el que las relaciones, ya sea entre países, instituciones o investigadores, son vistas como un elemento clave para la difusión del conocimiento y el desarrollo científico y tecnológico.

5.1. Características de la nanotecnología

La nanotecnología se refiere a la creación de materiales funcionales, dispositivos y sistemas a través del control de la materia a nivel atómico y molecular. Es una actividad fuertemente interdisciplinaria que involucra, entre otras, a la física, la química, la biología, la medicina y la ingeniería. Desde un punto de vista formal, la nanotecnología se refiere a la comprensión y al control de la materia en escalas de tamaño menores a los 100 nm. En esta escala, que se denomina escala mesoscópica, aparecen fenómenos únicos, originados en la naturaleza cuántica de la materia, que pueden ser utilizados para nuevas aplicaciones.

Es una práctica habitual hablar de nanociencias y nanotecnologías sin precisar las diferencias entre ambos conceptos. Sin embargo, existe un consenso entre los especialistas en que las nanociencias son las generadoras del conocimiento básico sobre esta fenomenología específica de la escala mesoscópica, tanto desde el punto de vista de la física, como de la química o de la biología, mientras que las nanotecnologías propiamente dichas se refieren a las técnicas de observación, manipulación y fabricación de nanoestructuras y de dispositivos en esa escala. Por ello, las nanotecnologías son consideradas por muchos autores, estrictamente, como nuevas ingenierías del siglo XXI, basadas en los conocimientos aportados por la investigación en nanociencias.

El problema es que, para estas tecnologías avanzadas, las distancias que separan los laboratorios de investigación y de desarrollo experimental e, incluso, la cadena de producción industrial, son tan pequeñas que no es fácil establecer fronteras claras. Así, es muy corriente en este campo que un nuevo producto comercial, capaz de revolucionar todo un mercado, esté basado en un descubrimiento científico muy reciente. Por ese motivo, este análisis no hace una distinción entre ambos conceptos.

El rápido crecimiento de la nanotecnología registrado mundialmente a partir de los años ochenta suele ser visto como resultado de la invención de nuevas microscopías, las cuales no sólo permiten observar la materia a escalas atómicas sino también la manipulación de átomos y moléculas, en el fenomenal crecimiento de las capacidades computacionales junto al desarrollo de nuevos métodos de cálculo teóricos y en los avances de la química sintética y la química supramolecular. En este desarrollo ha tenido también influencia la visión de destacados científicos sobre la capacidad de la nanotecnología para producir un impacto significativo en la sociedad. Todo ello ha llevado a la incorporación de la nanotecnología como una cuestión central en los sistemas de ciencia, tecnología e innovación de los países más industrializados, que están invirtiendo cifras millonarias (y crecientes cada año) en las actividades públicas y privadas de investigación y desarrollo en esta temática.

Sin embargo, la nanotecnología no constituye un campo bien definido de la actividad tecnológica sino un conjunto de tecnologías que evoluciona a diferentes velocidades y características. Los especialistas señalan que la nanotecnología está impactando e impactará cada vez más, en forma directa o indirecta, en diferentes industrias, especialmente en la manufacturera, la electrónica, la farmacéutica y la textil, entre otras. También indican que está impactando progresivamente, y continuará haciéndolo, en áreas tan disímiles como la salud, la cosmética la energía, el transporte, el medio ambiente y la seguridad. Este

listado ilustrativo, aunque no exhaustivo, se encuentra, además, en permanente expansión y produciendo cambios incrementales en los mercados existentes y la creación de nuevos mercados difícilmente imaginables en estos momentos.

A modo de ejemplo, cabe citar que ya en los años ochenta se comenzaron a desarrollar los primeros nanodispositivos basados en las extraordinarias propiedades de los pozos cuánticos de semiconductor con dimensiones nanométricas: los diodos láser inventados por el físico ruso Zhores Alferov en los años setenta (quien fuera Premio Nobel en 2001). El impacto socioeconómico de estos dispositivos resulta actualmente enorme y representa una pequeña muestra de lo que parece estar sucediendo. Así, los cabezales de lectura que están presentes en cualquier equipo reproductor o grabador de CDs y DVDs son sistemas ópticos miniaturizados que incorporan un láser de pozo cuántico y se fabrican muchos cientos de millones de unidades al año. Pero aún hay más: el desarrollo de mayor impacto social en este siglo, Internet, es fundamentalmente posible gracias a la extraordinaria eficiencia de estos dispositivos para emitir luz infrarroja y modularla a más de 40Gbits por segundo. En estos momentos, todo el enorme flujo de información que circula en Internet a través de fibras ópticas, a la velocidad de la luz y en una red global de más de 500 millones de usuarios de todos los continentes del planeta, ha sido transmitido por estos diodos. La nanotecnología ha entrado, masivamente ya, en la sociedad contemporánea, que es la sociedad de las tecnologías de la información y la comunicación y es la sociedad del conocimiento.

Coetáneamente, el rápido desarrollo de la nanotecnología ha vuelto inevitable el debate sobre ciertas cuestiones éticas. Éstas incluyen temas como la equidad (el incremento de la brecha entre países más y menos industrializados), el medio ambiente (los nanomateriales como posibles contaminantes), la privacidad y la seguridad (ante los dispositivos no detectables y nuevas armas), la modificación de organismos vivos, entre otros. Las regulaciones en desarrollo y a desarrollar están destinadas a prevenir usos destructivos o accidentes siguiendo los esfuerzos realizados en genómica y biotecnología.

El contexto de esta potencial “nueva revolución industrial” ha llevado a algunos países iberoamericanos a desarrollar programas orientados específicamente a la promoción de la nanotecnología. Las autoridades de estos países tienen crecientemente la percepción de que la nanotecnología puede impactar positivamente en la energía, la salud, el medio ambiente, los alimentos y la agricultura, entre otros temas de particular interés en la región. Desde un punto de vista más amplio, la nanotecnología es crecientemente percibida por autoridades y especialistas como una oportunidad de reducir la brecha con los países más industrializados dado el carácter disruptivo que presentará sobre algunas de las actuales tecnologías, estando actualmente en los planes e instrumentos de muchos de ellos.

En España se comenzó a impulsar formalmente la nanotecnología mediante la creación de la Red Española de Nanotecnología (NANOSPAIN) y la publicación de un Plan Estratégico en Nanociencias y Nanotecnología en 2004. NANOSPAIN cuenta con 250 grupos y empresas asociados que comprende 1.200 doctores con actividad científica en este campo. Una gran parte de sus miembros más activos proceden de las disciplinas de materiales (materiales nanoestructurados), de la química y de la física, con una escasa participación de la biología. Se ha hecho un importante esfuerzo en la creación de centros de investigación dedicados fun-

damental o exclusivamente a nanociencias y nanotecnología. Entre ellos, muy recientemente se ha creado el International Iberian Nanotechnology Laboratory (INL) como iniciativa conjunta de España y Portugal. Como se comprueba a lo largo de este estudio, la producción científica en nanotecnología de la investigación española (y, en menor escala, también de la portuguesa) es muy abundante y en muchos casos los resultados alcanzan un excelente nivel internacional. Sin embargo, resulta todavía escasa -aunque se encuentra en rápido aumento en ambos países de la península ibérica- la relevancia industrial de estas investigaciones y son relativamente pocas las patentes en explotación.

Brasil lanzó en el año 2001 la Iniciativa Brasileira em Nanotecnologia, que culminara en el Programa de Desenvolvimento da Nanotecnologia e Nanociencia del Plan Plurianual 2004-2007 (2003) del Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) con un importante presupuesto (el más alto de América Latina). Cuenta con instalaciones avanzadas para la investigación, como el Laboratorio Nacional de Luz Sincrotrón (el único sincrotrón disponible en todo el hemisferio sur), el recientemente conformado Instituto de Metrologia, Normalizao e Qualidade Industrial, el Centro Brasileiro de Pesquisas em Fisica y el Centro de Excelencia em Tecnologia Electronica. El mencionado programa brasileño de nanotecnología reúne unos 1.000 científicos agrupados en diez redes de trabajo que se encuentran actualmente ejecutando distintos proyectos.

El resto de los países iberoamericanos tiene distintos niveles de desarrollo en este campo. Argentina comenzó su actividad en nanotecnología más tarde que Brasil. En 2004 convoca a la presentación de proyectos de nanotecnología en un programa orientado a atender áreas de vacancia de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCYT). En el 2005 son aprobadas cuatro redes en nanociencias y nanotecnología que reúnen a unos 250 científicos, las cuales son finalmente financiadas en 2007. En 2005 es creado el Centro Argentino-Brasileiro de Nanociencia y Nanotecnología (CABN) destinado a la coordinación de acciones conjuntas con Brasil en este campo, en particular la formación de recursos humanos a través de escuelas y talleres y la realización de conferencias. Ese mismo año, es creada también la Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN) con el propósito de fomentar el potencial innovador de la nanotecnología, en este caso a través de la financiación de proyectos de empresas o instituciones que culminen en productos tecnológicos o patentes. Además, en el año 2007 se aprobó la creación del Centro Interdisciplinario de Nanociencia y Nanotecnología (CINN) que comprende unos 100 investigadores distribuidos en los cuatro centros públicos que concentran la mayor actividad de investigación en este campo.

En México la nanotecnología también se ha ganado un espacio importante. En esta actividad participan diversos centros de investigación y universidades en todo el país, involucrando a una importante catidad de investigadores. Se han creado redes de investigación en las que participan instituciones nacionales e internacionales, en particular existe una importante colaboración con Estados Unidos y la Comunidad Europea. Si bien no existe en México un programa nacional dedicado a la nanotecnología, existen varios proyectos en el área de nanomateriales. México también participa en el diseño y desarrollo de los llamados Sistemas Micro/Nano-Electromecánicos (MEMS-NEMS, por sus siglas en inglés), utilizados en las industrias eléctrica, automotriz, de telecomunicaciones o salud. En Chile existe un creciente interés de la comunidad científica

en las nanociencias y las nanotecnologías. Varias universidades y centros están ejecutando proyectos de investigación, particularmente en el área de los nanomateriales y en física de los sistemas en la nanoescala. Con apoyo de las autoridades nacionales se realizó a comienzos de 2008 un taller internacional sobre nanotecnología que reunió a un grupo importante de investigadores de Chile y extranjeros. En esa reunión se analizó posible esquemas para potenciar la investigación básica y aplicada de Chile en este campo.

Todos los países de la región presentan, en mayor o menor medida, grupos científicos involucrados en la investigación en este campo, lo cual se traduce, entre otros aspectos, en la conformación de redes regionales de conocimiento. A continuación se presenta un panorama, basado en una combinación de indicadores tradicionales y de análisis relacionales, de la evolución de la I+D en nanotecnología en la región.¹

5.2. Huellas de la I+D iberoamericana en nanotecnología

En el marco del interés que ha despertado la nanotecnología a nivel mundial para quienes diseñan políticas y estrategias en ciencia, tecnología e innovación, con el objetivo de potenciar el campo y facilitar la incorporación de conocimiento al sistema de I+D y a la industria, la información es un bien de importancia crítica. En ese sentido, el análisis de la información contenida en las bases de datos bibliográficas y de patentes de invención, como huellas tangibles de la producción de conocimiento, resulta de particular importancia, ofreciendo un enfoque más orientado a la investigación las primeras y a la aplicación industrial las segundas.

En este caso se ha optado por un abordaje complementario de ambos dominios de información, habiéndose utilizado por un lado la principal base de datos bibliográfica internacional, el Science Citation Index, y por el otro, la base de patentes del Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT, según la sigla en inglés), que reúne al selecto conjunto de documentos que son presentados de manera simultánea en varios países a través de este acuerdo.

El desafío inicial de este tipo de estudios es la selección precisa de los documentos que dan cuenta del campo que se desea analizar, y que luego podrán ser procesados con diferentes técnicas propias de la informática y la estadística. Esta tarea se realizó en base a una revisión bibliográfica y con la guía de expertos en el tema estudiado.

La definición del corpus de datos resulta un tarea compleja que, dada la transversalidad disciplinaria de la nanotecnología, sólo puede realizarse de manera efectiva en base a un conjunto de palabras clave representativas del objeto de estudio. Existen varios trabajos que contienen estrategias alternativas para seleccionar las publicaciones con contenido nanotecnológico en bases de datos bibliográficas. En este caso se revisaron dos de ellas, incluidas en los trabajos Refining Search Terms for Nanotechnology Research (Porter et al, 2008) y The

¹La información contenida en este apartado fue aportada por los expertos en nanotecnología Dr. Roberto Salvarezza (INIFTA-CONICET) y Dr. Fernando Briones (IMM-CSIC).

Seminal Literature of Nanotechnology (Kostoff, 2005). Si bien ambas estrategias recuperaron cantidades similares de registros, la intersección entre ambos conjuntos resultó tan sólo cercana al 70 %. Luego de someter ambas posibilidades a los nanotecnólogos que asesoraron la tarea, se optó por la incluida en el trabajo de Porter por ser más representativa de los temas actuales en el terreno de la nanotecnología a nivel mundial. Se trata de una estrategia amplia, que busca abarcar todos los campos de la nanotecnología, aplicada a una base de datos con estrictos estándares de calidad como es el SCI. El detalle de la estrategia utilizada se encuentra en el Anexo 1.

Por otra parte, y como se señaló anteriormente, las patentes de invención son una fuente valiosa de información sobre el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación. Cada una de las partes que las componen (título, resumen, descripción, reivindicaciones, titular, inventor, fecha de presentación de la solicitud, fecha de concesión de la patente, país de otorgamiento y citas del arte previo) nos permite conocer un aspecto en particular de ese resultado de investigación protegido jurídicamente, ya sea éste un producto, un proceso o un uso nuevo en el caso de los países que así lo contemplan en su régimen de propiedad intelectual.

Las características de una patente de invención adquieren mayor relevancia cuando intentamos tener una aproximación cercana al estado del arte en áreas nuevas de la ciencia aplicada como es el caso de la nanotecnología, desarrollada en gran medida por empresas privadas que regularmente no realizan publicaciones de sus avances en innovación, como lo hacen las instituciones públicas.

Al igual que las publicaciones, las patentes tienen dos usos diferentes, más allá de la protección a la propiedad intelectual que brindan. Por un lado, al tratarse de un cúmulo tan inmenso de información (actualmente hay más de cuarenta y siete millones de patentes en el mundo), la extracción de información puntual de los documentos sirve para favorecer la transferencia de tecnología y para facilitar la innovación en el sector productivo. Según estudios de la Unión Europea, en los últimos años se han perdido aproximadamente veinte mil millones de euros por realizar inversiones en I+D de tecnologías que se encuentran patentadas, en lugar de tomar ese conocimiento previo y avanzar desde el punto en donde dejaron los investigadores anteriores en un área determinada del conocimiento.

Por otro lado, la construcción de indicadores a partir de los documentos de patentes permite observar las tendencias en el desarrollo tecnológico de diferentes campos, aprovechando la información estructurada en esos documentos, permitiendo poner el foco en distintos aspectos que van desde los campos de aplicación hasta la distribución geográfica de los titulares e inventores. El hecho de que la estructura de este tipo de documentos esté normalizada a nivel mundial facilita mucho el procesamiento conjunto de datos provenientes de distintas oficinas nacionales de patentes. En este caso se ha escogido la base de datos de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO, según su sigla en inglés), que contiene los documentos registrados mediante el Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT, también según su sigla en inglés).

El tratado PCT permite solicitar la patente por una invención de manera simultánea en distintos países miembros del tratado y que el inventor selecciona de acuerdo a su criterio. Si bien la decisión de otorgar o no la patente recae en cada uno de los países, este mecanismo facilita enormemente la tramitación

del registro en oficinas múltiples ya que las solicitudes que llegan mediante el convenio PCT no pueden ser rechazadas por cuestiones de forma en los países miembros. Asimismo, antes de ser enviada la solicitud a cada país se elabora una “búsqueda internacional” similar a la que realizan los examinadores de cada oficina. Este documento sirve tanto al titular para evaluar la patentabilidad de su invento como a los examinadores nacionales que ven disminuido su trabajo.

La solicitud y el mantenimiento de patentes internacionales registradas mediante el tratado PCT son costosos en términos económicos y de gestión, por lo que sólo suelen registrarse allí los inventos con un potencial económico o estratégico importante. La selección de esta fuente se basó en ese criterio de calidad, apuntando a relevar con precisión los avances tecnológicos de punta a nivel mundial. Por otra parte, con la utilización de una base de datos de estas características se facilita la comparabilidad internacional, que se vería seriamente dificultada en el caso de tomar alguna fuente nacional.

Al igual que en el análisis de las publicaciones realizado, la delimitación del campo es un tema central dada la complejidad, amplitud y diversidad de los desarrollos tecnológicos que aplican conceptos provenientes de la nanotecnología. Para ello se realizó una revisión bibliográfica de trabajos que han abordado recientemente el análisis de patentes en este campo y que utilizan estrategias de búsqueda muy dispares y con distintos niveles de profundidad y/o precisión. En base al asesoramiento de expertos se optó por la estrategia incluida en el trabajo Mapping Excellence in Science and Technology across Europe. Nanoscience and Nanotechnology (Noyons, 2003), realizado en conjunto por la Universidad de Leiden y el Instituto Fraunhofer. Se trata de una estrategia de búsqueda sumamente detallada que consta de más de treinta consultas individuales combinadas, basadas en palabras clave y códigos de la Clasificación Internacional de Patentes (IPC, según la sigla en inglés). En este caso, también se trata de un criterio amplio, que incluye desarrollos que aplican nanotecnología proveniente de los diversos frentes de investigación en esta disciplina, y que fue aplicado a una base de datos de patentes en la que se registran sólo inventos con gran potencial. El detalle de la estrategia utilizada está disponible en el Anexo 2 de este informe.

5.3. La investigación en nanotecnología

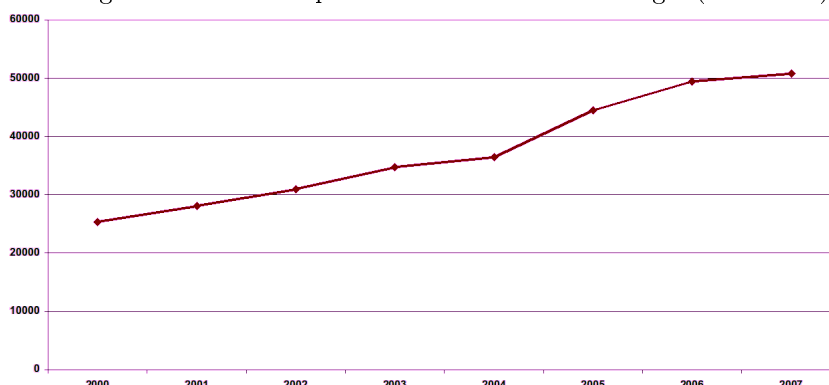
Las bases de datos bibliográficas internacionales, tales como el SCI, SCOPUS y Pascal, entre otras, dan cuenta de la producción científica medida a través de los artículos publicados en las revistas de mayor reconocimiento a nivel internacional y permiten, a través de su medición evaluar aspectos relativos a la capacidad científica en campos determinados y su evolución en el tiempo. Esta forma de evaluación presenta ciertas dificultades en algunos campos de la ciencia en los que las culturas disciplinarias privilegian en mayor medida la difusión a escala local, pero en el campo de la nanotecnología, debido a su carácter avanzado, la utilización de este recurso permite calibrar la significación de la I+D iberoamericana en la conformación mundial del campo de la nanotecnología. Esas características hacen que se trata de un campo disciplinario muy interesante para un análisis de este tipo, en el que se busca demostrar las posibilidades que

ofrece la aplicación conjunta de indicadores atributivos y relacionales. Se busca así presentar un panorama de los cambios en los volúmenes de producción, los patrones de colaboración internacional, las redes de interacción y los recortes disciplinarios predominantes en la región y los principales países.

5.3.1. La evolución de la producción científica

La búsqueda bibliográfica realizada permitió recuperar 300.270 documentos en nanotecnología entre los años 2000 y 2007. Estos documentos, que representan el 3,4 % del total de la producción científica registrada en el SCI en ese período, una proporción si se quiere pequeña, pero con un crecimiento marcado y sostenido durante todo el período, ya que en 2000 se contaron 25.349 documentos y en 2007 alcanzaban ya más del doble: 50.769 publicaciones, muy por encima de la media general (Figura 5.1).

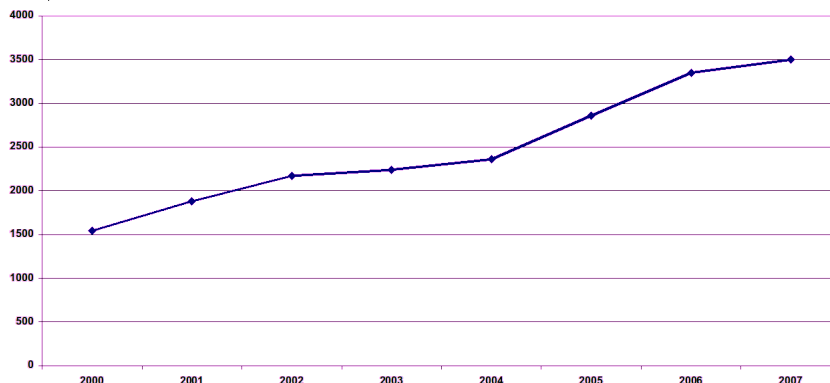
Figura 5.1: Total de publicaciones en nanotecnología (2000-2007)



La presencia de Iberoamérica en el SCI fue, para el período 2000-2007, de 19.904 documentos. Se trata del 3,5 % del total de las publicaciones iberoamericanas registradas en esa base de datos internacional durante el período considerado, una proporción muy similar a la observada para el total mundial. Sin embargo, como muestra la Figura 5.2, el crecimiento continuo fue, en términos relativos, más fuerte en Iberoamérica que en el mundo: de 1.544 documentos registrados en 2000, pasó a 3.504 publicaciones en 2007, superando el doble del valor inicial del período (un aumento del 127 %, frente al 100 % de crecimiento de la producción científica en nanotecnología mundial).

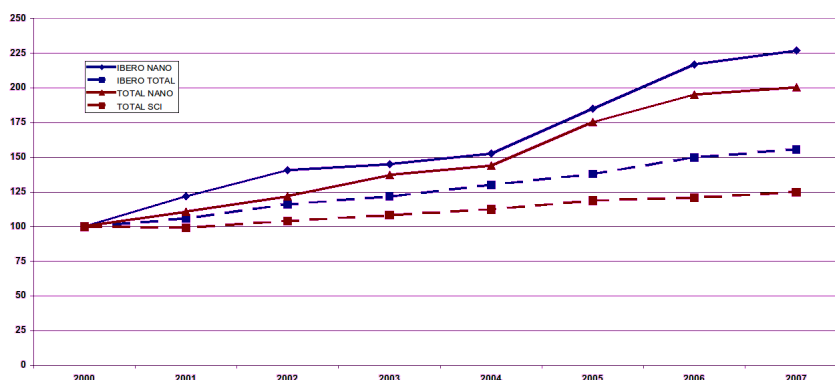
La producción científica en el campo de la nanotecnología mundial creció, además, a un ritmo muy superior al presentado por el total de la producción científica registrada en SCI en el período 2000-2007 (Figura 5.3). Mientras que el total de la base creció un 25 %, en el mismo período los artículos sobre nanotecnología alcanzaron un incremento del 100 %. Asimismo, pasaron de abarcar el 2,5 % de las publicaciones totales en SCI en 2000 a representar el 4,1 % de los registros totales en 2007. En la región iberoamericana considerada como conjunto, el total de la base creció un 56 % mientras sus documentos en nanotecnología aumentaron un 127 %. Un fenómeno semejante al mundial ocurre con las publicaciones

Figura 5.2: Total de publicaciones iberoamericanas en nanotecnología (2000-2007)



iberoamericanas, en donde la nanotecnología pasó de abarcar el 2,7 % del total en 2000 al 4 % en 2007.

Figura 5.3: Total mundial e iberoamericano de publicaciones en nanotecnología (Base 2000=100)

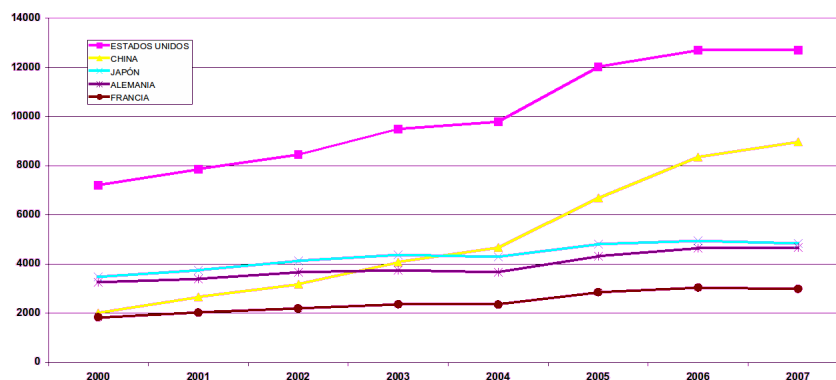


Estados Unidos, con 7.206 artículos en 2000 y 12.701 en 2007, manteniendo una presencia cercana al 27 % del total en todo el período. En segundo lugar en 2007 aparece China, destacándose especialmente por su crecimiento muy superior al del resto de los países: más que cuadruplica su producción entre puntas (pasa de 1.995 a 8.964 registros) y asciende desde el cuarto lugar en 2000. Completan el listado de los cinco países más importantes en este campo Japón, Alemania y Francia, que presentan un crecimiento moderado (Figura 5.4).²

Los cinco países con mayor presencia en la producción nanotecnológica a nivel iberoamericano son España, Brasil, México, Portugal y Argentina (Figura 5.5).

²En este caso se ha utilizado la metodología de contabilización por enteros, es decir que se ha contado un registro completo para cada uno de los países participantes en el mismo. Existiendo así duplicaciones generadas por la colaboración internacional, la suma de la producción de los países es superior al total mundial.

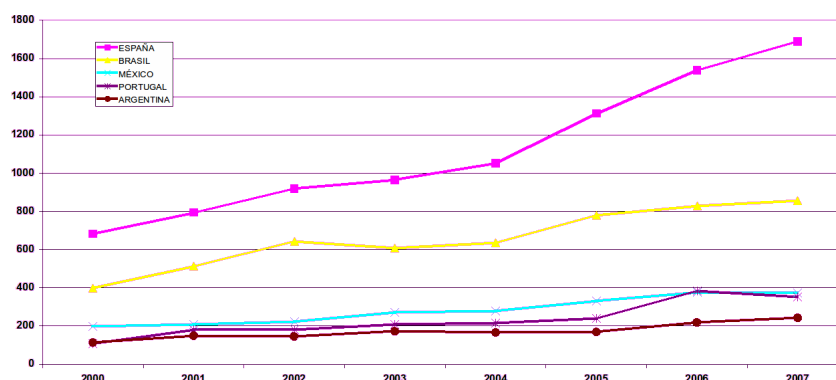
Figura 5.4: Publicaciones de los principales países del mundo en nanotecnología



El desempeño de España se destaca especialmente por su fuerte presencia: participa en el 45 % de la producción científica en nanotecnología iberoamericana en todo el período. También se destaca por su crecimiento sostenido, a partir del cual asciende de 683 artículos en 2000 a 1.689 en 2007 (con un aumento del 147 %).

En segundo lugar durante todo el período analizado aparece Brasil, país latinoamericano que es responsable de más de la cuarta parte de la producción científica en nanotecnología iberoamericana y también presenta un crecimiento continuo, aumentando más del doble (un 115 %) su participación en el SCI en la temática. Crecimientos relativos un poco menores registraron, para igual período, México y Argentina (que ocupan el tercer y el quinto lugar en la región respectivamente, con aumentos de su producción científica en nanotecnología de un 90 % y un 113 %), aunque ninguno de ellos alcanza siquiera a la mitad del volumen de artículos generados por Brasil. Finalmente, resalta el caso de Portugal, que ocupa el cuarto lugar de la región (representando cerca del 10 % de su producción total en esta temática) pero es el país con mayor crecimiento relativo durante el período 2000-2007: un 231 %.

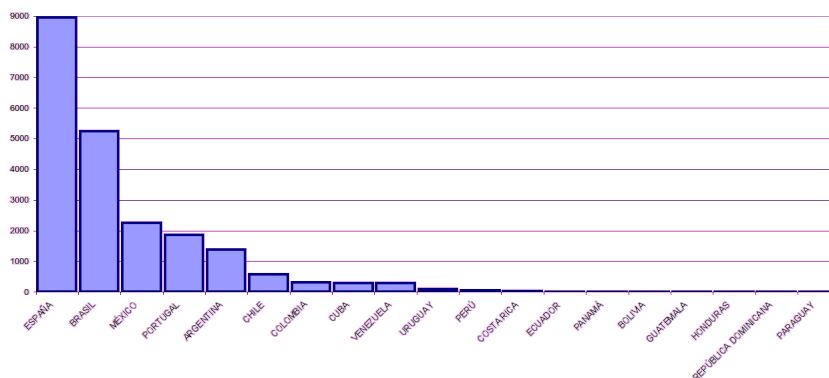
Figura 5.5: Publicaciones de los principales países iberoamericanos en nanotecnología



En la Figura 5.6 puede observarse la participación de cada país en el conjunto de la producción científica en nanotecnología de Iberoamérica acumulado durante 2000-2007. España sobresale por su gran volumen de artículos publicados en la temática durante el período considerado, con 8.955 documentos. En segundo lugar se encuentra Brasil, con 5.254 publicaciones especializadas. En tercer lugar se ubica México, que registra 2.261 artículos en el SCI. Portugal, en el cuarto lugar, presenta una producción de 1869 documentos y Argentina, en el quinto, una producción de 1.376 artículos en nanotecnología.

A los cinco principales países iberoamericanos siguen, en orden decreciente, Chile (con 581 publicaciones), Colombia (con 311), Cuba (con 296), Venezuela (con 291), Uruguay (con 83) y Perú (con 50). Por último, pero con una escasa cantidad de artículos (la mayoría inferior a la veintena durante todo el período), se encuentran otros ocho países: Costa Rica, Ecuador, Panamá, Bolivia, Guatemala, Honduras, República Dominicana y Paraguay.

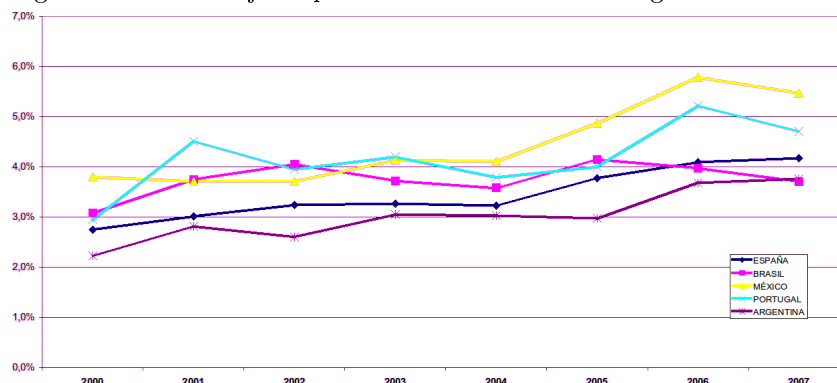
Figura 5.6: Publicaciones de los países iberoamericanos en nanotecnología



Según la evolución del porcentaje de la producción científica en nanotecnología durante 2000-2007 en relación al total de la producción registrada en el SCI, los cinco principales países iberoamericanos en la materia según sus volúmenes de publicaciones (España, Brasil, México, Portugal y Argentina) se ordenan de modo diferente.

Como muestra la Figura 5.7, México es el primer país iberoamericano en cuanto a proporción de producción científica en nanotecnología en el SCI durante todo el período: es el que tiene el mayor valor en 2000 (3,8 %) y crece sostenidamente hasta alcanzar en 2007 el que representa también el mayor valor de la región (5,5 %). Portugal es el segundo país según su porcentaje en 2007 (cerca del 5 %) y el que presenta las mayores irregularidades en algunos años del período. España y Argentina, en el tercer y el quinto lugar respectivamente, tienen ambos incrementos continuos e importantes: España pasa del 2,7 % en 2000 al 4,2 % en 2007, mientras que Argentina asciende del 2,2 % en 2000 al 3,8 % en 2007. Brasil pasa de ubicarse segundo en 2000 con una proporción del 3 % a quedar quinto en 2007 con el 3,7 %, aunque cabe considerar que se trata del segundo país (luego de Portugal) del grupo de los cinco principales de Iberoamérica en materia de crecimiento relativo de su volumen total de artículos en las bases de datos internacionales del SCI durante el mismo período.

Figura 5.7: Porcentaje de publicaciones en nanotecnología en relación al total



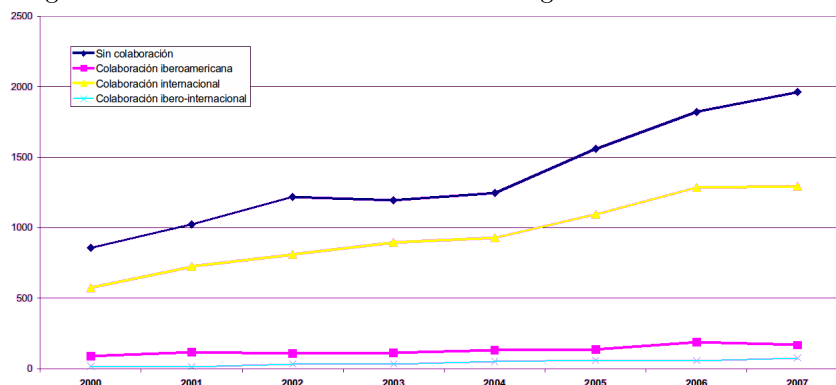
5.3.2. La colaboración internacional

El trabajo conjunto con investigadores de otros países es una tendencia creciente a nivel mundial y que atraviesa la totalidad de las disciplinas. Es, además, un factor comúnmente abordado por las políticas de ciencia, tecnología e innovación. Es también de particular importancia en un campo como la nanotecnología, en el que la disponibilidad de grandes equipamientos resulta vital y que por lo tanto, sobre todo en países en desarrollo, impulsa aún más la colaboración.

La Figura 5.8 permite observar que, considerando la producción científica en nanotecnología registrada en el SCI de Iberoamérica en forma agregada, pueden advertirse tres tendencias yuxtapuestas. En primer lugar, que el peso de las publicaciones en nanotecnología realizadas por autores iberoamericanos sin colaboración internacional es cuantitativamente muy importante y, además, se ha ido incrementando en forma sostenida en los últimos ocho años (aumentando cerca del 130 % entre 2000 y 2007). En segundo lugar, que también se ha ido incrementando a nivel iberoamericano la presencia de la “colaboración internacional”, es decir, la colaboración producida entre un país de Iberoamérica y uno o más países no iberoamericanos. En este sentido, como se analizará más adelante, resultan un dato clave los países con los cuales colabora la región para co-producir en esta temática. Finalmente, una tercera tendencia observada es una débil presencia de la “colaboración ibero-internacional” (aquella registrada entre dos o más países de la región y uno o más países extra-regionales), que sin embargo crece de 19 artículos científicos en 2000 a 77 documentos en 2007, así como de la “colaboración iberoamericana” (aquella producida entre autores pertenecientes a dos o más países iberoamericanos), que resulta el tipo de producción con menor aumento durante el período analizado. Las tres tendencias observadas quedarán explicadas a continuación a partir de las composiciones relativas de la producción en colaboración de España y Brasil, los grandes motores del crecimiento iberoamericano en la temática.

La Figura 5.9 presenta la composición del conjunto de la producción científica en nanotecnología de los cinco principales países iberoamericanos acumulada en el período 2000-2007. La colaboración internacional no resulta un dato menor de la forma de producción del conocimiento científico en nanotecnología de estos

Figura 5.8: Publicaciones iberoamericanas según colaboración internacional



países, pero con diferentes matices.

España y Portugal, los países europeos de Iberoamérica, presentan un patrón muy similar: poco más de la mitad de su producción es realizada en colaboración, una colaboración fundamentalmente producida con países no iberoamericanos (cerca del 43 % en ambos casos) y en menor medida con otros países de Iberoamérica (entre el 7 % y el 9 % respectivamente). Argentina muestra también una fuerte producción científica en colaboración, pero con una composición bien diferente: es el país del grupo de los cinco principales con más presencia relativa de copublicaciones iberoamericanas en nanotecnología: casi una quinta parte de su producción (18,3 %), que alcanza la cuarta parte al sumarle las copublicaciones ibero-internacionales registradas. Este último tipo de colaboración, que implica la copublicación entre autores de tres o más países, es un dato más que significativo, ya que pone de manifiesto el peso de las redes internacionales de investigación en los procesos de generación de conocimiento. Brasil y México, los dos países latinoamericanos que completan el grupo de los cinco principales, tienen la menor proporción de publicaciones científicas en nanotecnología en colaboración (casi dos terceras partes de la producción brasileña y más de la mitad de la producción mexicana son realizadas sin colaboración internacional). Asimismo, muestran una baja colaboración con otros países iberoamericanos.

La Figura 5.10 permite comparar el peso relativo que tiene la copublicación iberoamericana en la producción científica en nanotecnología en los países de la región durante 2000-2007. Se trata de un aspecto muy importante para la mayor parte de los países de la región con sistemas de ciencia y tecnología pequeños y con baja producción científica en nanotecnología disponible en las bases de datos internacionales del SCI. Es también de una importancia significativa para los países de desarrollo medio, como Chile, Colombia y Venezuela.

En este grupo de países se observa que la dimensión internacional “intra-iberoamericana” resulta un elemento significativo para publicar en las revistas de la denominada “corriente principal” de la ciencia. Son, específicamente, los casos de Cuba (que tiene el 70 % de sus publicaciones en colaboración iberoamericana), Uruguay (59 %), Perú (40 %), Colombia (39 %), Chile (36 %) y Venezuela (27 %). Sobre los otros países de la región con sistemas de ciencia y tecnología pequeños (como el caso de Paraguay, que cuenta con sólo una publicación, o Bolivia, que tiene

Figura 5.9: Publicaciones según colaboración internacional

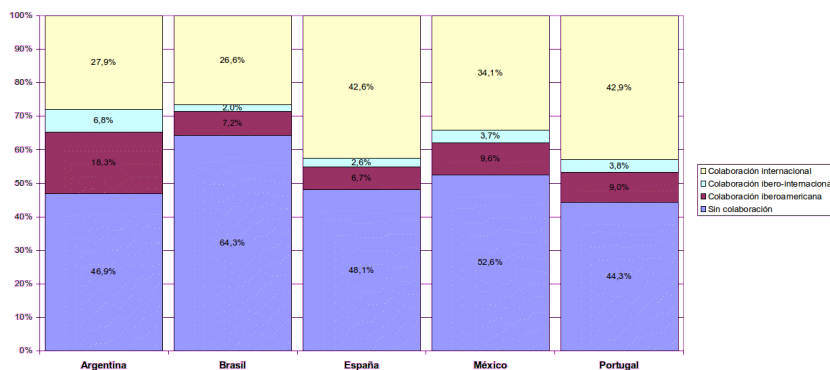
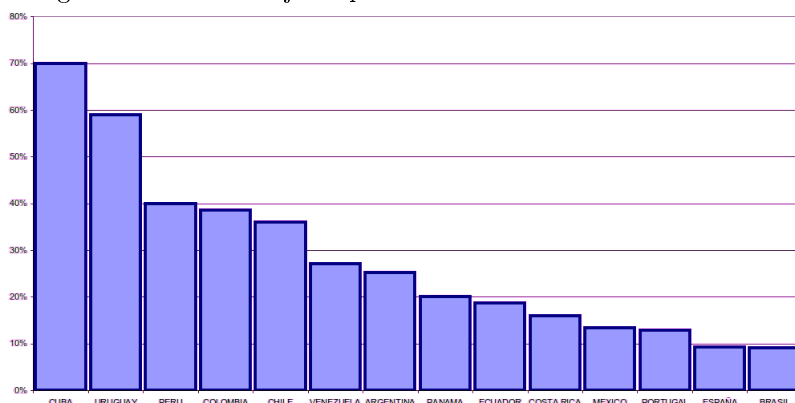


Figura 5.10: Porcentaje de publicaciones en colaboración iberoamericana



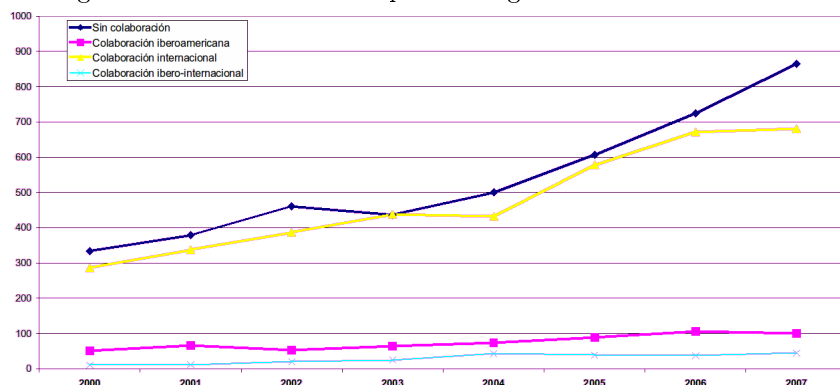
apenas diez artículos) no es posible plantear tendencias por la escasa cantidad de artículos registrados durante el período considerado.

La serie de figuras que se presentan a continuación muestra la evolución de la producción científica en nanotecnología en colaboración de los cinco principales países iberoamericanos en esta temática.

El caso español (Figura 5.11), dado el volumen de su producción, refleja tendencias muy similares a las observadas para la región iberoamericana en forma agregada, de fuerte y continuo crecimiento de la producción científica en nanotecnología sin colaboración (con apenas una leve caída en 2003) y de la copublicación internacional. Las colaboraciones iberoamericana e ibero-internacional, asimismo, no resultan significativas para el país que lidera claramente la producción iberoamericana en nanotecnología y registran algunas pequeñas fluctuaciones durante el período considerado.

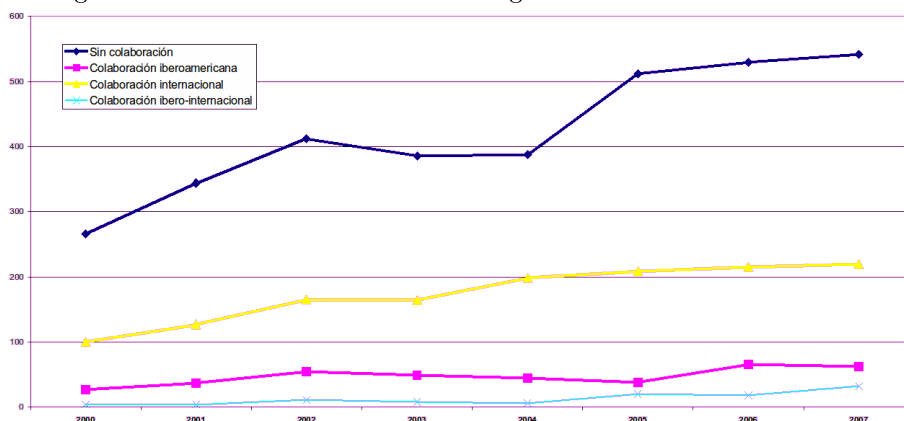
El caso brasileño (Figura 5.12), el segundo líder de la región iberoamericana en producción científica en nanotecnología, muestra una trayectoria fundamentalmente ascendente, aunque con un descenso durante el bienio 2003-2004, en la que es su principal forma de producción: la elaboración de artículos sin co-

Figura 5.11: Publicaciones españolas según colaboración internacional



laboración. La colaboración internacional se mantiene en constante aumento durante 2000-2007, mientras que tanto la colaboración iberoamericana como la ibero-internacional son poco significativas, a la vez que presentan un crecimiento lento y con algunos altibajos.

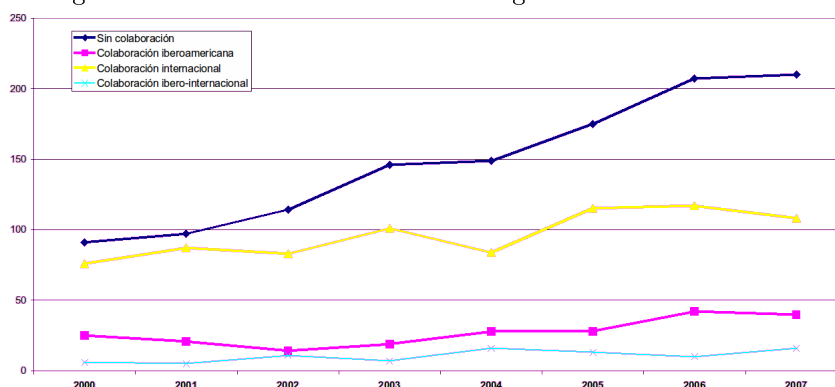
Figura 5.12: Publicaciones brasileñas según colaboración internacional



El caso mexicano (Figura 5.13) muestra una pendiente creciente de la producción científica en nanotecnología realizada sin colaboración (que, como se señaló anteriormente, es la principal forma de generación de conocimiento de México en esta temática durante el período analizado), un crecimiento moderado con altibajos (durante 2002 y 2004) de la producción en colaboración internacional (la segunda manera más importante de elaboración de documentos científicos en la temática de este país) y una muy baja presencia con tendencia levemente creciente de la colaboración con otros países iberoamericanos y de la colaboración ibero-internacional.

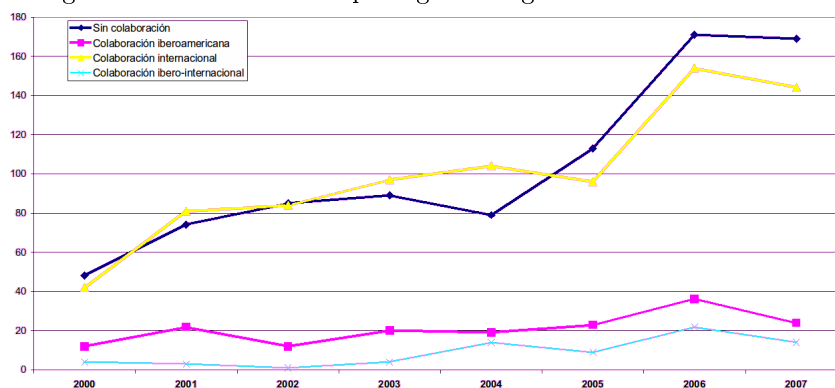
El caso portugués (Figura 5.14) es el único de los cinco principales países iberoamericanos en producción científica en nanotecnología cuyas trayectorias de generación de conocimiento sin colaboración y en colaboración internacional se acercan notablemente y que en algún momento del período 2000-2007 registra

Figura 5.13: Publicaciones mexicanas según colaboración internacional



un crecimiento de su producción en colaboración internacional que supera al crecimiento de la producción científica realizada sin colaboración (lo cual ocurre en 2001 y luego en 2003-2004). Por otra parte, la producción en colaboración iberoamericana e ibero-internacional es muy pequeña, pero crece con diversas fluctuaciones durante la mayoría del período analizado. Cabe señalar que las cuatro formas de producción de artículos científicos en nanotecnología de Portugal registran leves bajas durante el último año en el período considerado en este análisis.

Figura 5.14: Publicaciones portuguesas según colaboración internacional

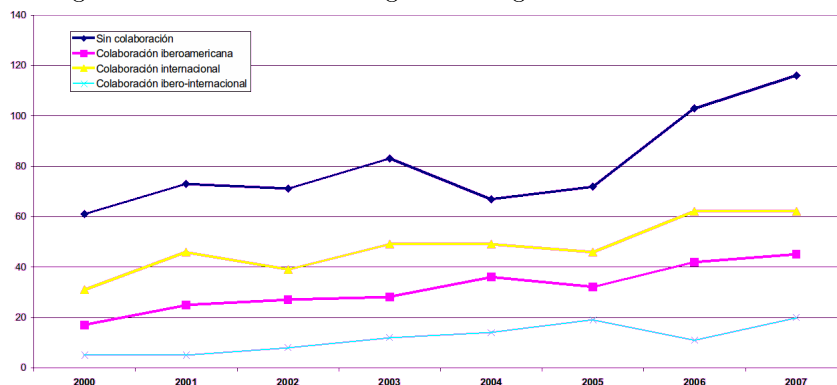


Finalmente, el caso argentino (Figura 5.15) muestra cómo la evolución de la colaboración (tanto la colaboración iberoamericana como la internacional y, aunque más incipientemente, la ibero-internacional) en las publicaciones del período 2000-2007 es una de las principales causas que impulsaron el crecimiento de la producción científica de ese país en nanotecnología.

Por el contrario, las publicaciones argentinas sin colaboración internacional muestran un descenso importante en 2004, posiblemente relacionado con la crisis argentina de 2001 y 2002, para retomar posteriormente la curva ascendente desde 2005. La nanotecnología en Argentina puede verse entonces como un campo fuertemente vinculado con el exterior (un exterior que es, además, creciente-

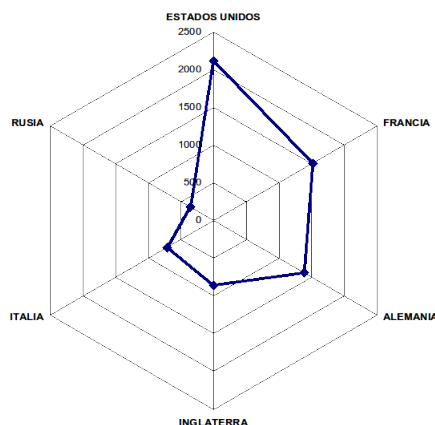
mente iberoamericano), lo cual conlleva importantes efectos positivos sobre la visibilidad internacional de la producción científica local.

Figura 5.15: Publicaciones argentinas según colaboración internacional



El detalle de los seis países con los cuales Iberoamérica como conjunto tiene mayor colaboración internacional en nanotecnología durante el período 2000-2007 puede verse en la Figura 5.16. Ellos son, en orden decreciente, Estados Unidos (el líder mundial en la temática), Francia (país que ocupa el quinto lugar) y Alemania (cuarto lugar mundial), con los que se produce la mayor colaboración; seguidos por Inglaterra (sexto lugar), Italia (octavo lugar) y Rusia (duodécimo lugar). Se trata fundamentalmente de una estrecha colaboración norteamericana-europea, que deja fuera, por el momento, a los líderes asiáticos China y Japón, probablemente por cuestiones culturales y diferentes tradiciones en los procesos de generación de conocimiento.

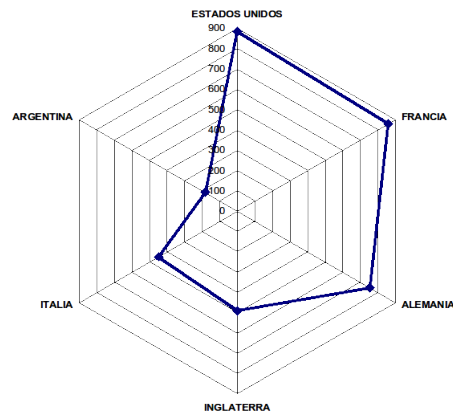
Figura 5.16: Publicaciones iberoamericanas en colaboración según país



España muestra una profundización de la tendencia observada para Iberoamérica en su conjunto (Figura 5.17), especialmente en los tres primeros países con los que concentra la gran mayoría de su producción en colaboración interna-

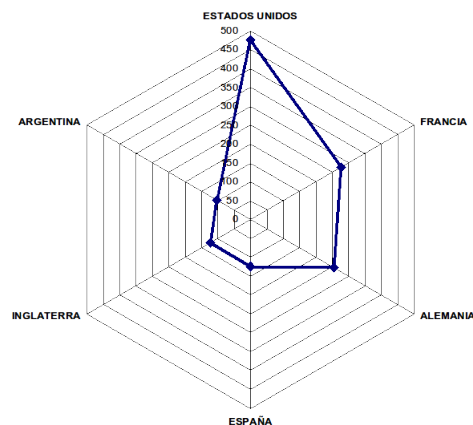
cional (Estados Unidos, Francia y Alemania), pero también en los dos países siguientes (Inglaterra e Italia). Sin embargo, muestra una particularidad digna de mención: en el sexto lugar aparece Argentina (que ocupa el lugar treinta y cinco en el ranking mundial), aunque con una colaboración pequeña (cercana a un quinto de la mantenida con Estados Unidos).

Figura 5.17: Publicaciones españolas en colaboración según país



Brasil (Figura 5.18) presenta una producción en colaboración fuertemente concentrada en Estados Unidos, en segundo lugar con Francia, en tercero con Alemania y en quinto con Inglaterra, como en el total iberoamericano. Sin embargo, dos países iberoamericanos, uno de ellos latinoamericano, aparecen entre los seis con mayor porcentaje de copublicación para los investigadores brasileños: España (en el undécimo lugar en el ranking mundial), en el cuarto lugar, y Argentina en el sexto y último lugar.

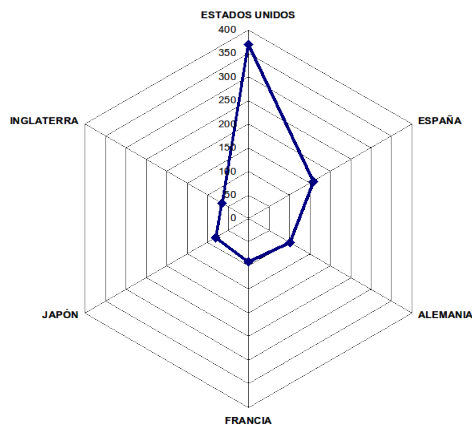
Figura 5.18: Publicaciones brasileñas en colaboración según país



México (Figura 5.19) tiene una colaboración internacional fuertemente concen-

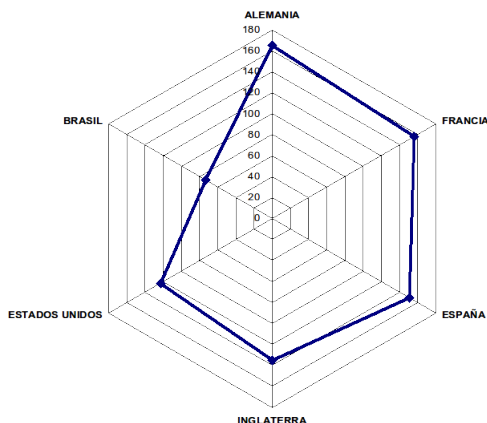
trada en Estados Unidos. En un segundo y distante lugar se ubica España, en el tercer lugar Alemania, en el cuarto Francia, en el quinto aparece Japón (tercero en el ranking mundial) y en el sexto Inglaterra. Cabe señalar que la colaboración con Japón sólo supera la veintena de artículos en 2001, para luego descender en forma continua hasta cuatro artículos en 2007.

Figura 5.19: Publicaciones mexicanas en colaboración según país



Portugal (Figura 5.20) es el único país de los cinco principales de la región iberoamericana que no tiene a Estados Unidos como principal colaborador, sino que se ubica en el quinto lugar. La colaboración portuguesa en nanotecnología se produce fundamentalmente con sus colegas europeos Alemania, Francia, España e Inglaterra. En el sexto lugar, muy probablemente por tratarse de otro país lusófono, aparece Brasil (en el décimo séptimo lugar en el ranking mundial), que se trata de una colaboración pequeña pero creciente.

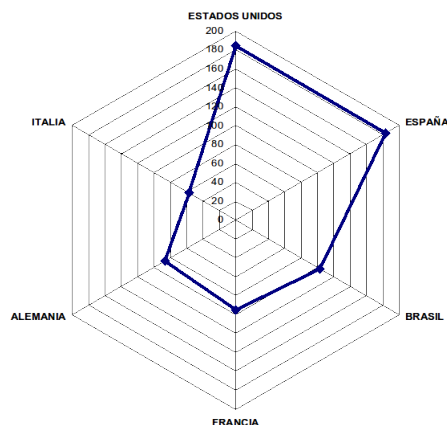
Figura 5.20: Publicaciones portuguesas en colaboración según país



Finalmente, Argentina (Figura 5.21) presenta una colaboración internacional

fuertemente concentrada en Estados Unidos y España en los dos primeros lugares (explicando la tercera parte de la producción en colaboración). Completan los seis principales países con los cuales colaboran los investigadores argentinos en nanotecnología son el latinoamericano Brasil en el tercero y los europeos Francia, Alemania e Italia en los restantes.

Figura 5.21: Publicaciones argentinas en colaboración según país



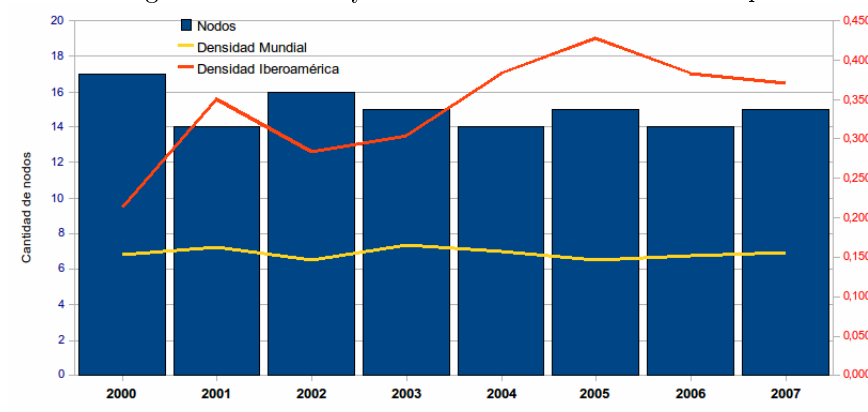
5.3.3. Iberoamérica en las redes mundiales de colaboración

Las similitudes idiomáticas y culturales, la trayectoria histórica y la proximidad geográfica son factores que en todos los ámbitos ha servido para facilitar e impulsar las relaciones entre los países iberoamericanos. Más allá de las corrientes mundiales de la I+D, las actividades científicas y tecnológicas no escapan a estos patrones.

Una forma de dar cuenta de la integración del espacio iberoamericano de conocimiento es a través de la firma conjunta de artículos científicos, como una evidencia de la colaboración en temas de investigación. Ese principio se ha utilizado para la construcción de las redes de colaboración entre países, presentando en primer término la red mundial en el campo de la nanotecnología y, posteriormente, las relaciones entre los países iberoamericanos entre sí.

Los cambios en la integración general de la red de copublicación pueden ser cuantificados mediante el indicador de densidad, que da cuenta de la cantidad de enlaces existentes sobre el total de los enlaces posibles. La Figura 5.22 muestra la evolución comparada durante 2000-2007, de la densidad de la red de producción científica en nanotecnología del total mundial y la de la red compuesta por el total de la producción científica en nanotecnología de Iberoamérica, que es cuantificada en el eje derecho. Las barras dan cuenta de la cantidad de nodos participantes de la red mundial de nanotecnología en cada año, que son cuantificadas en el eje izquierdo.

Figura 5.22: Nodos y densidad de las relaciones entre países



Mientras que la densidad de la producción total mundial en nanotecnología se mantiene relativamente estable, la integración dentro de la región iberoamericana se mantuvo en un nivel superior, registrando además un crecimiento con algunos altibajos. En 2000 la red iberoamericana de nanotecnología presentaba un índice de densidad de 0,21, superior al que presentaba la red total mundial (0,15), que crece a 0,35 en 2001, desciende a 0,28 el año siguiente y a partir de allí continúa creciendo hasta el año 2005, año en que alcanza una densidad de 0,42 (frente a un 0,14 del total mundial). Los dos últimos años del período se observa un descenso de la densidad de la red iberoamericana, que igualmente se mantiene más que duplicando la densidad del total de la producción mundial en la temática.

Todo esto da cuenta de que Iberoamérica funciona, efectivamente, como un espacio de colaboración con un nivel de relacionamiento mayor que el promedio general de la red. A continuación se presenta el lugar que ocupan los países de la región en el contexto mundial de la investigación en nanotecnología. La Figura 5.23 presenta la red de países conformada por la publicación conjunta de artículos en 2000. Se han incluido todos los países con al menos 10 artículos registrados en ese año y los de la comunidad iberoamericana han sido resaltados en rojo.³

Dado que la cantidad de nodos y relaciones existentes es muy extensa, impidiendo la visualización y el análisis, se ha recurrido en este caso a técnicas de poda. Estas técnicas consisten en la aplicación de algoritmos que eliminan los lazos menos importantes en la red, dejando tan sólo la cantidad mínima necesaria para no desconectar ningún nodo. El criterio para esto es que el peso de los caminos totales resultantes (en nuestro caso la cantidad de artículos firmados en conjunto) sea el mayor posible. De esta manera se obtiene la estructura básica que subyace en una red de mucha complejidad. El resultado de estas técnicas de poda es un árbol de caminos mínimos (minimum spanning tree, MST) de un grafo. En este caso se ha utilizado una implementación del algoritmo de Prim (Prim, 1957).

³La metodología para la representación de redes de colaboración se describe en Wagner and Leydesdorff (2003).

Figura 5.23: Red de países con producción científica en nanotecnología (2000)



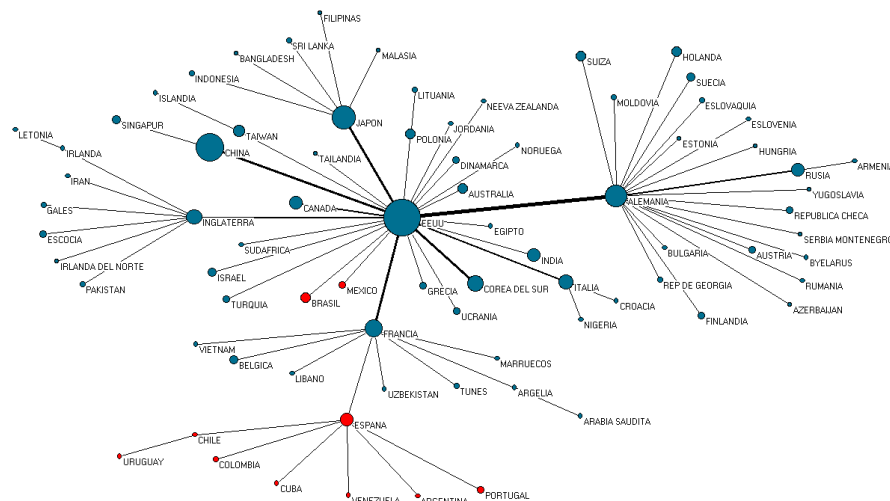
En el año 2000, Estados Unidos ocupaba el papel central en la red, tanto por ser el país que contaba con más publicaciones en la temática como por ser el principal articulador de relaciones con otros países con una producción importante en este campo: Japón y Alemania y, en menor medida, China (por intermedio de Canadá), Francia e Inglaterra. La principal conexión, por los nodos que articula (13 países) y por la capacidad de intermediación que presenta, se daba entre Estados Unidos y Alemania (en el tercer lugar en 2000 en términos de cantidad de publicaciones). También cabe marcar las articulaciones científicas entre el principal país de la red y Francia (en el quinto lugar del mundo en 2000), a su vez generadora de nuevas relaciones de colaboración con 6 países con pequeñas producciones, uno de ellos iberoamericano: Chile.

Concentrando el análisis en los países iberoamericanos, es posible observar que España (y a través de ella, Portugal) aparece vinculándose científicamente en forma directa con Estados Unidos. Manteniendo relaciones radiales con el líder norteamericano aparecen también otros 6 países iberoamericanos: Brasil (que a su vez registra producción científica en nanotecnología en colaboración con Cuba y, a través de ella, con Colombia), México, Argentina y Venezuela.

En la Figura 5.24 se puede observar cómo ha evolucionado la red de países con producción científica en nanotecnología en colaboración internacional hacia el año 2005. El entramado de relaciones entre los distintos países del mundo ha crecido notablemente en complejidad, manteniéndose Estados Unidos como el primer nodo tanto por la cantidad de publicaciones que reúne como por ser el núcleo central alrededor del cual se articulan los demás países con producción científica en la temática. Entre ellos, algunos lo hacen en forma radial y otros conforman nodos articuladores, a su vez con nuevas “ramificaciones”. Algunos de estos nodos articuladores de relaciones ya habían aparecido cumpliendo este rol al comienzo del período bajo análisis (son los casos de Alemania, Francia e Inglaterra), pero han aumentado la cantidad de países que vinculan científicamente a través de su producción; otros países se inician desempeñando ese papel

articulador de nuevos vínculos: Japón y España.

Figura 5.24: Red de países con producción científica en nanotecnología (2005)



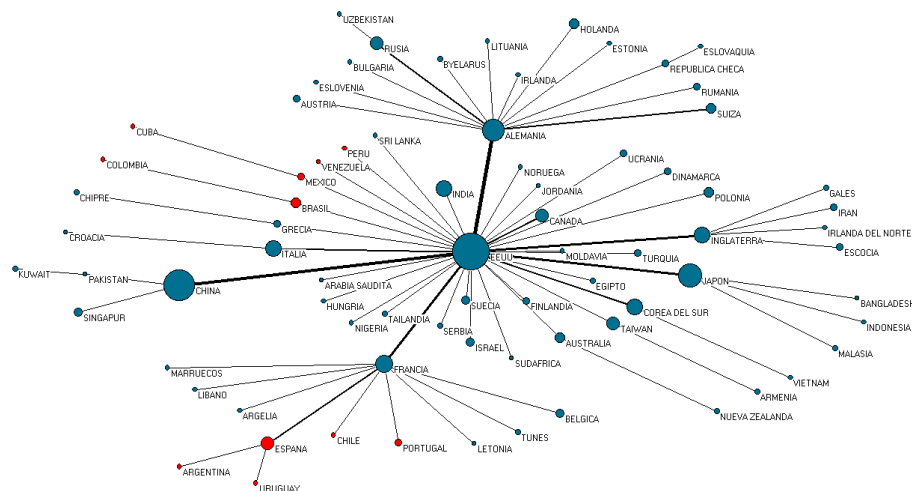
Este año ha sido seleccionado por ser el que mayor densidad presenta entre los países Iberoamericanos. Esto se ve claramente en el gráfico, en el que –con excepción de Brasil y México– todos los países de la región aparecen en la misma rama del árbol, teniendo a España como enlace con el tronco principal.

España, conectada con Estados Unidos a través de Francia, articula en la red de colaboraciones de 2005 a otros 7 países iberoamericanos: Portugal, Argentina, Venezuela, Cuba, Colombia y Chile (y a través de él, Uruguay). Otros dos países iberoamericanos aparecen vinculados en esta red, pero directamente con Estados Unidos: Brasil y México.

La Figura 5.25 es la vista más actual (2007) de la red de colaboración científica en nanotecnología del mundo. Estados Unidos sigue ocupando el papel central, fuertemente conectado con Alemania (a su vez nodo articulador de 14 países), Japón (con vínculos con 3 países), Francia (que vincula a otros 11 países) e Inglaterra (con interacciones con otros 4 países), y, en menor medida a China (articulada con 3 países). Otros países aparecen articulados al nodo central en forma radial, algunos conectando a un país más, la mayoría con relaciones bilaterales directas de colaboración.

En forma consecuente con el descenso de la densidad de las relaciones entre los países iberoamericanos, en 2007 la posición de estos países en la red mundial es más dispersa. Es nuevamente a través de Francia que se producen los vínculos con la red general de 5 países iberoamericanos en 2007: España, que a su vez es articulador de relaciones científicas con Argentina y Uruguay; Chile y Portugal. Sin embargo, una mayoría de países iberoamericanos (6) aparecen vinculándose directamente con el líder mundial (Estados Unidos): Brasil (y a través de él, Colombia), México (y a través de él, Cuba), Venezuela y Perú.

Figura 5.25: Red de países con producción científica en nanotecnología (2007)



5.3.4. La red de colaboración iberoamericana

En el apartado anterior se presentó la posición de los países iberoamericanos en la red mundial de investigación en nanotecnología. A partir de esa información es posible observar la densidad de la colaboración entre los países de la región. Para profundizar el detalle de esas interacciones, se describe a continuación el panorama de la colaboración, plasmada en la firma conjunta de artículos científicos, de los países iberoamericanos.

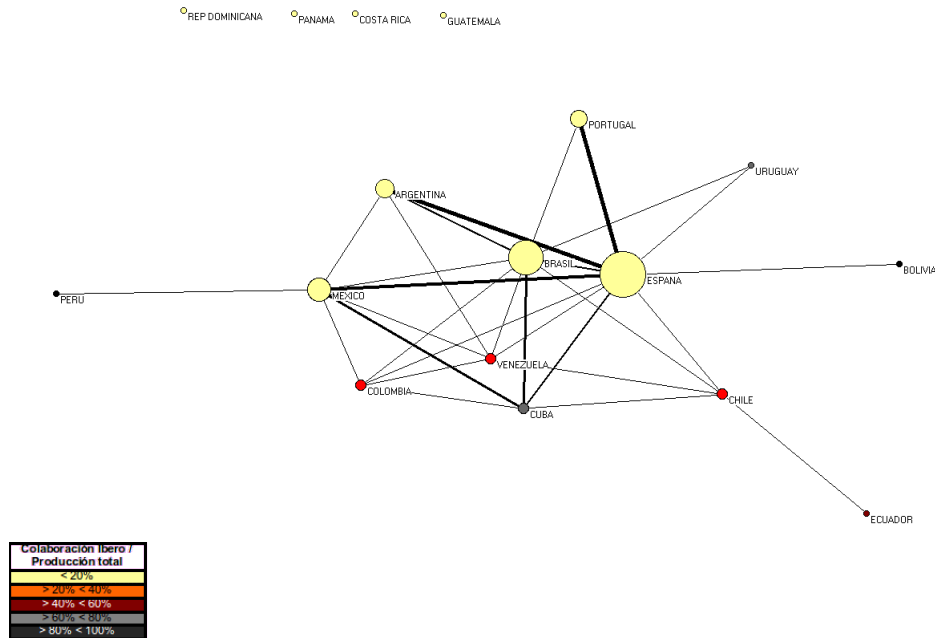
Sólo se consideran en este caso las relaciones entre los países de la región. A diferencia de los gráficos de la red mundial, en este caso no se han recortado los lazos existentes. Se han tomado dos años, 2000 y 2007, para dar cuenta de la evolución de este espacio de interacción en la producción de conocimiento en el campo de la nanotecnología.

La Figura 5.26 presenta la composición de la red de nanotecnología en 2000. El diámetro de los círculos representa la cantidad de artículos publicados, mientras que el grosor de las líneas da cuenta de la cantidad de publicaciones en común. Los colores de los nodos dan cuenta de la proporción de la colaboración iberoamericana en relación al total de la producción.

En ese año, la red presentaba un grupo central -fuertemente conectado- integrado por los países de mayor producción de la región, junto con algunos países de menor volumen de producción en posiciones periféricas. Por último, aparecen cuatro países, también de volumen menor, sin conexión con otros países iberoamericanos en 2000.

El lugar central en la red lo ocupan España y Brasil, tanto en cuanto a cantidad de publicaciones como a densidad de relaciones. Ambos pueden ser vistos como fuertemente articuladores de la red en 2000, aunque la relación entre ambos es relativamente débil en relación al volumen de su producción y sus relaciones con otros países.

Figura 5.26: Red de países iberoamericanos (2000)



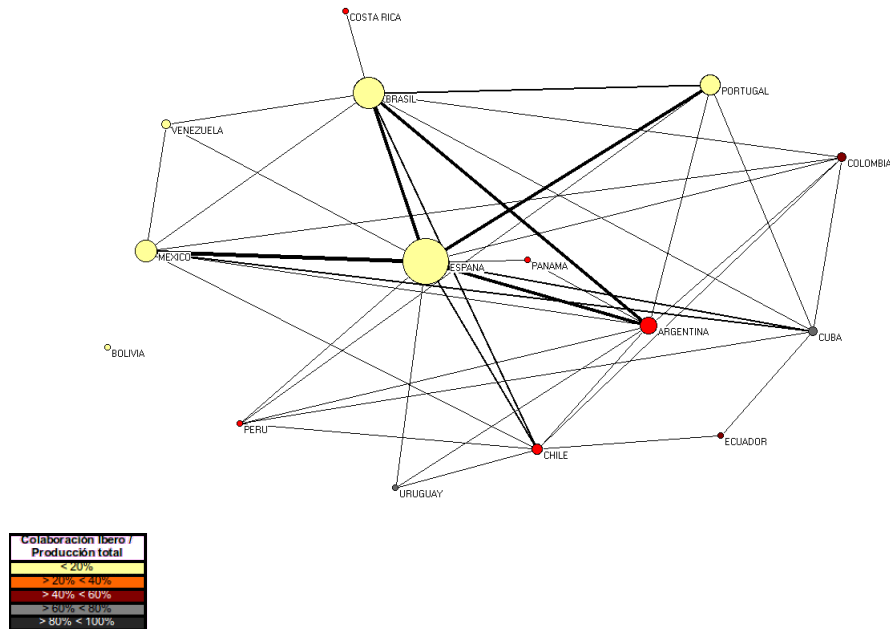
Los países de mayor producción en nanotecnología en Iberoamérica son también aquellos para los que la colaboración con el resto de la región representa un volumen menor de su producción: España, Brasil, México, Portugal y Argentina tienen valores inferiores al 20 %. Si se exceptúan a los países de menor producción en la región (con participación en menos del 1 % de la producción global iberoamericana en nanotecnología), por carecer de masa crítica para este análisis, se observa que los de desarrollo intermedio son los de mayor presencia de cooperación iberoamericana: Chile, Colombia y Venezuela presentan valores entre el 20 % y el 40 %, mientras que se destaca el caso de Cuba con más del 70 % de sus artículos en colaboración con autores de la región.

En 2007 (Figura 5.27), el papel de España se consolida aún más, superando por un mayor margen a Brasil tanto en cantidad de publicaciones como en intensidad y diversidad de las relaciones con el resto de los países iberoamericanos. Por otra parte, como se vio en la Figura 5.22, la densidad general de la red iberoamericana es muy superior a la de 2000. Sólo un país –Bolivia– no presenta conexiones con otros países de la región en este año.

Asimismo, la importancia de la colaboración iberoamericana se ha incrementado para muchos países. Mientras que España y México mantienen sus porcentajes de colaboración regional estables (con un 9 % y un 15 % respectivamente), Brasil pasa del 8 % al 11 % en el período analizado. Portugal, en cambio, desciende al 11 % luego de haber alcanzado el 15 % en 2000.

El caso más marcado de aumento de la integración iberoamericana es el de Argentina, que pasa del 19 % de sus publicaciones en nanotecnología con participación de otros países de la región en 2000, a alcanzar el 27 % en 2007. Existe

Figura 5.27: Red de países iberoamericanos (2007)



un particular incremento en la intensidad de las relaciones de Argentina con Brasil, reflejando un fuerte proceso de integración entre esos dos países. Un ejemplo de ello es la conformación del Centro Argentino Brasileño de Nanociencia y Nanotecnologías, que funciona desde 2005.

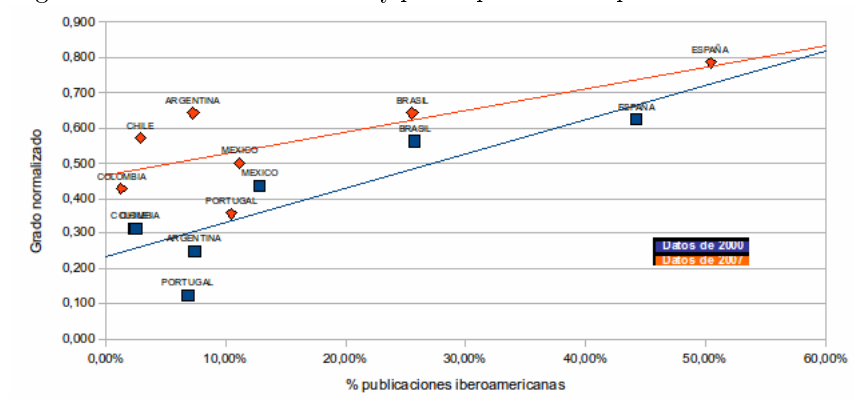
Aunque con un volumen de producción menor, un fenómeno igualmente fuerte se da en Chile (que pasa del 22 % al 39 % entre las puntas del período analizado) y Colombia (del 26 % al 49 %). También en 2007, Cuba y Uruguay alcanzan, respectivamente, el 76 % y 65 % de colaboración iberoamericana en su producción.

Por otra parte, para obtener medidas cuantitativas de la posición de los países en las redes de colaboración, y sus cambios a lo largo del período estudiado, es posible recurrir a distintos indicadores propios del análisis de redes. El más simple de estos indicadores es el grado normalizado, que está dado por el número de otros nodos al que uno está directamente vinculado, normalizado por la cantidad total de relaciones posibles. Esta medida da cuenta del nivel de exposición directa de cada nodo a la información que circula por la red.

Obviamente, la cantidad de lazos que posee una institución está fuertemente correlacionada con la cantidad de publicaciones con que cuenta. La Figura 5.28 presenta la distribución de los principales países iberoamericanos en un plano definido por la participación porcentual en la producción regional total en el eje x y el grado normalizado de cada nodo en el eje y. Para observar la evolución de cada país en el contexto de la red, los datos correspondientes a 2000 se presentan en azul y los de 2007 en rojo. En ambos casos, se ha trazado en el gráfico una línea de regresión para poder observar la posición relativa de cada país con respecto al conjunto. Los datos que dan origen al gráfico, pero para la totalidad

de los países iberoamericanos con producción en nanotecnología en ambos años, se presenta en el Cuadro 5.1.

Figura 5.28: Grado normalizado y participación en la producción iberoamericana



Una tendencia distinta presenta Portugal, el cuarto país iberoamericano en cuanto al volumen de producción. Si bien su participación en la producción regional se vio fuertemente incrementada desde 2000, pasando del 6,87 % al 10,48 %, no se observa un incremento equivalente en su integración a la red, manteniendo valores de grado muy bajos en relación a los demás países de la región.

El caso opuesto es el de Argentina, que ocupa el quinto lugar en cuanto a su volumen de producción acumulado en nanotecnología. Este país, manteniendo una participación porcentual estable en la producción iberoamericana, levemente mayor al 7 %, incrementó mucho sus relaciones dentro de la región. En 2007, con menos de la tercera parte de las publicaciones brasileñas, obtiene una centralidad equivalente (medida por el grado normalizado) a la de ese país.

Finalmente, Chile mantiene una posición similar en los dos momentos analizados, tanto en su participación en la producción regional como en cuanto a su centralidad relativa, en el contexto de creciente densidad de la red. Colombia, en cambio, vio descender su participación en la producción iberoamericana en más de un punto, al igual que su centralidad, dado que aunque en términos absolutos su indicador de grado se incrementó, no lo hizo con igual intensidad que el resto, como lo muestra su posición con respecto a la línea de regresión trazada en el gráfico.

Otra forma de ver la centralidad de los países en la red de colaboración es en términos de su intermediación en los caminos de la información. El indicador de intermediación da cuenta de la frecuencia con que un nodo aparece en el camino más corto entre otros dos, medida que puede interpretarse como un indicador de la capacidad de controlar el flujo de información por parte de ese nodo, en nuestro caso cada uno de los países iberoamericanos.

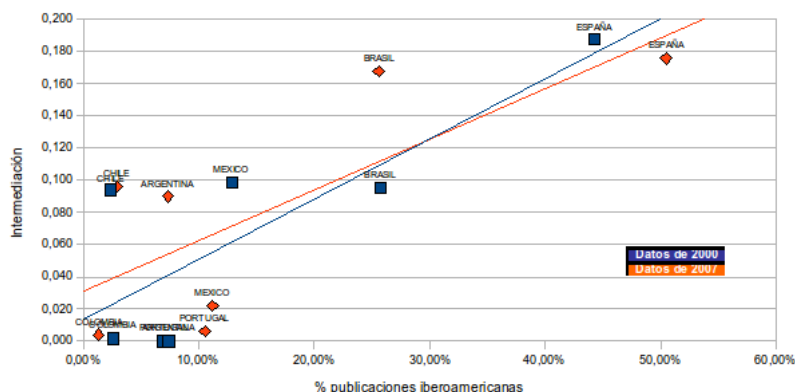
De la misma forma que con el grado normalizado, analizado anteriormente, la Figura 5.29 presenta la distribución de los principales países iberoamericanos en un plano definido por la participación porcentual en la producción regional total en el eje x y su intermediación en el eje y. En este caso, también se puede observar la evolución de cada país en el contexto de la red, dado que los datos

Cuadro 5.1: Grado normalizado y participación en la producción iberoamericana

País	Participación en la producción iberoamericana 2000	Grado 2000	Participación en la producción. iberoamericana 2007	Grado 2007
ESPAÑA	44,24 %	0,625	50,45 %	0,786
BRASIL	25,71 %	0,563	25,54 %	0,643
MEXICO	12,82 %	0,438	11,17 %	0,500
PORTUGAL	6,87 %	0,125	10,48 %	0,357
ARGENTINA	7,38 %	0,250	7,26 %	0,643
CHILE	2,33 %	0,313	2,87 %	0,571
COLOMBIA	2,53 %	0,313	1,28 %	0,429
VENEZUELA	2,07 %	0,375	1,11 %	0,214
CUBA	2,46 %	0,313	1,02 %	0,500
URUGUAY	0,26 %	0,125	0,51 %	0,214
PERU	0,26 %	0,063	0,39 %	0,357
PANAMA	0,06 %	0,000	0,18 %	0,143
ECUADOR	0,13 %	0,063	0,15 %	0,143
COSTA RICA	0,19 %	0,000	0,12 %	0,071
BOLIVIA	0,06 %	0,063	0,06 %	0

correspondientes a 2000 se presentan en azul y los de 2007 en rojo. Una vez más, se ha trazado en el gráfico una línea de regresión para poder observar la posición relativa de cada país con respecto al conjunto. El Cuadro 5.2 presenta los datos que dan origen al gráfico, pero para la totalidad de los países iberoamericanos con producción en nanotecnología en ambos años.

Figura 5.29: Intermediación y participación en la producción iberoamericana



La primera evidencia es que la intermediación de España, a pesar del incremento de su participación en la producción regional entre 2000 y 2007, ha decrecido. De esta manera, la posición de este país en la red se ha vuelto menos crítica, dado que ahora existen más caminos que unen a los países de la región sin

la necesidad de pasar por el de mayor producción. Esto es consistente con el aumento de la densidad de la red comentado anteriormente y de la integración creciente del espacio iberoamericano.

Cuadro 5.2: Intermediación normalizada y participación en la producción iberoamericana

País	Participación en la producción iberoamericana 2000	Intermediación 2000	Participación en la producción iberoamericana 2007	Intermediación 2007
ESPAÑA	44,24 %	0,187	50,45 %	0,176
BRASIL	25,71 %	0,095	25,54 %	0,168
MEXICO	12,82 %	0,098	11,17 %	0,022
PORTUGAL	6,87 %	0,000	10,48 %	0,006
ARGENTINA	7,38 %	0,000	7,26 %	0,090
CHILE	2,33 %	0,093	2,87 %	0,096
COLOMBIA	2,53 %	0,002	1,28 %	0,004
VENEZUELA	2,07 %	0,020	1,11 %	0,000
CUBA	2,46 %	0,013	1,02 %	0,068
URUGUAY	0,26 %	0,000	0,51 %	0,000
PERU	0,26 %	0,000	0,39 %	0,006
PANAMA	0,06 %	0,000	0,18 %	0,000
ECUADOR	0,13 %	0,000	0,15 %	0,002
BOLIVIA	0,06 %	0,000	0,06 %	0,000

Brasil y Argentina, en cambio, aumentan fuertemente su intermediación, tanto en términos absolutos como en el contexto de la red iberoamericana de nanotecnología. De esta forma, ante la posición menos crítica de España en la red de colaboración de 2007, estos países adquieren una posición de articulación más importante dentro de la red, sirviendo de puente para la conexión de países de menor desarrollo relativo en esta materia. Por el contrario, México, el tercer país en cuanto a volumen de producción, presenta un descenso muy fuerte de su intermediación en la red, pasando de un valor de 0,098 en 2000 a un 0,022 en 2007. De esta manera, a pesar de estar conectado de manera directa con los nodos más relevantes de la red, no aparece como un nodo de importancia para el flujo de información entre los países de menor producción.

Portugal, por su parte, apenas incrementa su intermediación en el período analizado. En 2000 su valor de intermediación era de 0 y en 2007 de 0,006.

En conclusión, analizando el conjunto de la red, el volumen de la producción científica de los países y sus relaciones mutuas, se hace evidente la importancia creciente que tiene el espacio iberoamericano del conocimiento, en el campo de la nanotecnología. Además, es importante destacar que la colaboración regional es aún más importante para los países de desarrollo medio, que parecen haber encontrado en la cooperación iberoamericana un terreno propicio para la consolidación de sus capacidades en investigación y desarrollo.

5.3.5. El entramado institucional de la nanotecnología

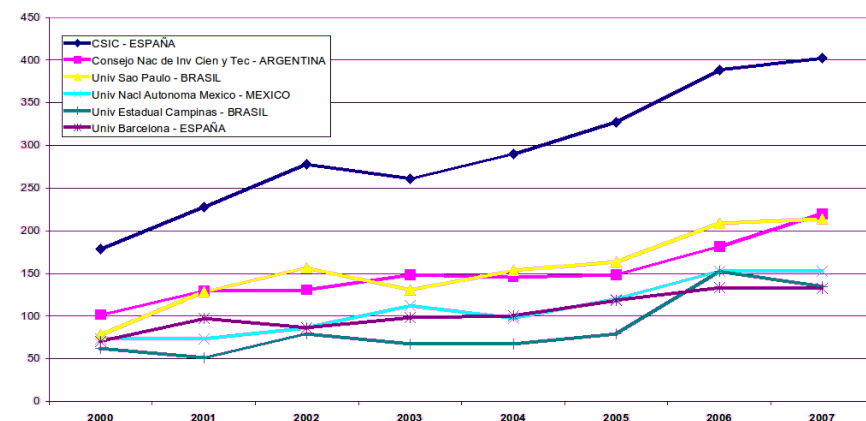
De la misma manera en que la producción iberoamericana en nanotecnología se concentra fuertemente en uno pocos países, la distribución institucional sigue patrones similares. Si bien existen más de mil instituciones con al menos un artículo en nanotecnología registrado en SCI entre 2000 y 2007, una veintena de ellas participan en la mitad de la producción total en ese período.

Antes de analizar comparativamente la producción científica a nivel institucional, es importante considerar que existen particularidades en las estructuras de los sistemas científicos de los países iberoamericanos. Si bien el grueso de la investigación que tiene como canal de difusión la publicación en revistas internacionales se da en las universidades, en los casos de España y Argentina existen consejos que, agrupando centros ejecutores de I+D (algunos de ellos con dependencia mixta con universidades), tienen una presencia muy fuerte en la producción científica.

Estos consejos aparecen en los primeros lugares en cuanto a volumen de producción, pero hay que tener en cuenta que se trata de conformaciones institucionales distintas a las de las universidades. El caso del CONICET argentino es muy claro en ese sentido, dado que en alrededor del 75 % de sus publicaciones existe participación de las distintas universidades de ese país, ya sea por ser sede de centros mixtos o por ser lugar de trabajo de investigadores financiados por el Consejo. Es así como existe un solapamiento institucional que impulsa el desempeño de este tipo de organizaciones.

La institución iberoamericana con mayor presencia en las publicaciones de nanotecnología en el SCI es el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) español. Además de su importancia en volumen, participando en 11,8 % de la producción iberoamericana en nanotecnología, presenta un fuerte ascenso que lo lleva a un incremento de más del 100 % entre 2000 y 2007 (Figura 5.30).

Figura 5.30: Evolución de las publicaciones de instituciones iberoamericanas en SCI



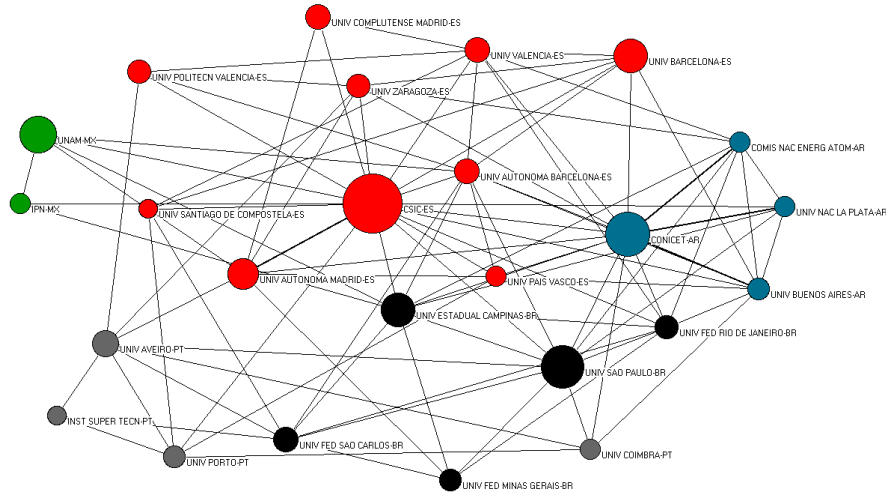
A continuación aparecen, con trayectorias relativamente similares y volúmenes de producción equivalentes, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y

Técnicas (CONICET) argentino y la brasileña Universidad de San Pablo. Ambas participando en alrededor del 6 % de la producción total de iberoamérica entre 2000 y 2007. El crecimiento más fuerte, sin embargo, es el de la Universidad brasileña, cuyo crecimiento entre puntas asciende al 174 %, en comparación con el 114 % registrado por la institución argentina. De esta manera se despega, a partir de 2000, del resto de las universidades con fuerte presencia en esta temática.

Luego, completando los primeros seis lugares, aparecen tres universidades que comparten también trayectorias similares: la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Estadual de Campinas y la Universidad de Barcelona. Mientras la institución mexicana y la brasileña tienen trayectorias muy parejas, la española presenta un crecimiento más marcado a partir de 2005, compensando su menor crecimiento desde 2002.

La Figura 5.31 presenta la red de colaboración entre las veinticinco instituciones iberoamericanas con mayor producción en nanotecnología en 2007. El volumen de los nodos da cuenta de la cantidad de publicaciones, mientras que los lazos representan artículos firmados en común y su grosor está dado por la cantidad de copublicaciones. Los artículos firmados por más de una institución han sido contabilizados por entero para ambas. Los colores de los nodos han sido asignados de acuerdo al país de la institución que representan, rojo para España, negro para Brasil, gris para Portugal, verde para México y azul para Argentina.

Figura 5.31: Red de instituciones iberoamericanas (2007)



Para la disposición de la red en el plano se ha aplicado el algoritmo de Kamada-Kawai (Kamada, T y Kawai, S, 1989), que busca distribuir los nodos a distancias lo más uniformes posible y con la menor cantidad de cruces entre los enlaces, asignando fuerzas a cada uno de ellos como si fueran elásticos. La aplicación de este algoritmo tiene dos consecuencias que pueden apreciarse a simple vista. Por un lado, el centro del gráfico es ocupado por los nodos más conectados y, por el otro, los nodos más conectados entre sí tienden a agruparse en el espacio. Consecuentemente, el centro del gráfico está ocupado por el CSIC, la institución

más productiva en este año y con mayor número de enlaces, siendo la principal articuladora de la colaboración iberoamericana en nanotecnología. Las intensas relaciones del CSIC están apoyadas en buena medida en su política de establecer convenios de cooperación científica con los países latinoamericanos, y que están vigentes para la mayor parte de los países de la región.

Al mismo tiempo, las instituciones se agrupan en el espacio de acuerdo al país al que pertenecen, dado que tienen mayores niveles de colaboración entre sí que con el conjunto de la red. La única excepción es la portuguesa Universidad de Coimbra, cuyos fuertes lazos con instituciones brasileñas y argentinas la desplazan del resto de las instituciones de ese país.

Entre las veinticinco instituciones presentadas, diez son españolas. En el gráfico se pueden observar, además de la importancia del CSIC tanto para el sistema español como para la red regional, los fuertes lazos con las instituciones argentinas, ya evidenciados en los indicadores de cooperación internacional vistos anteriormente. Ocho de las instituciones españolas presentadas tienen vinculación directa con colegas argentinos, mientras que sólo cinco se vinculan con pares brasileños y tan sólo tres con pares mexicanas.

Las instituciones argentinas entre las veinticinco más productivas de iberoamérica son cuatro: el CONICET, que articula la mayor parte de las relaciones dentro de esta red, la Universidad del Buenos Aires (UBA), la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Mientras que a nivel internacional la UBA se conecta sólo de manera directa con el CSIC y la Universidad de Barcelona, el CONICET y la CNEA tienen también vinculación con las universidades brasileñas de San Pablo, Río de Janeiro y Campinas.

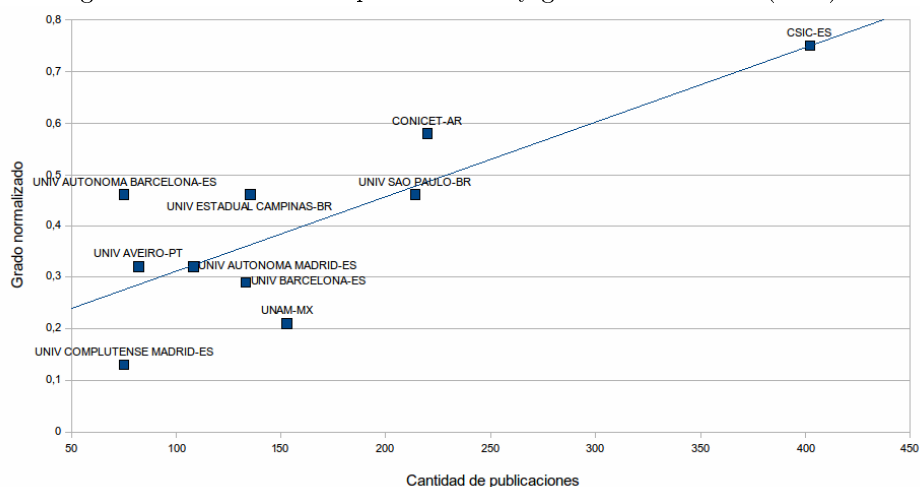
Las universidades brasileñas presentes en este conjunto se encuentran fuertemente conectadas, tanto entre ellas como a nivel internacional. Se destaca entre ellas la Universidad de Campinas, que se relaciona de forma directa con más de la mitad de las veinticinco instituciones analizadas en este caso. Es además la única institución de ese país que se relaciona con colegas mexicanos.

México cuenta con dos instituciones en el grupo de las veinticinco más productivas en este campo a nivel iberoamericano. Se trata de la UNAM y del Instituto Politécnico Nacional. A pesar de ser el tercer país de la región en cuanto a volumen de producción, las instituciones mexicanas no se encuentran fuertemente relacionadas a nivel regional. Ambas se relacionan con la Universidad de Campinas, el CSIC y la Universidad de Santiago de Compostela, mientras que la UNAM cuenta también con vinculaciones con la Universidad Autónoma de Barcelona.

Portugal, por último, cuenta con cuatro instituciones entre las veinticinco más productivas de la región en 2007. Se trata de las universidades de Aveiro, Porto y Coimbra, junto con el Instituto Superior Técnico. Más allá de su fuerte relación entre sí, la Universidad de Porto se vincula con el CSIC, la Universidad del País Vasco y la Universidad Autónoma de Barcelona, entre las instituciones aquí analizadas. La Universidad de Aveiro, en cambio, tiene relaciones con varias instituciones españolas y, seguramente favorecidas por el idioma común, con dos universidades brasileñas. Como ya se mencionó, la Universidad de Coimbra cuenta con lazos orientados hacia América Latina, en particular con la Universidad de San Pablo, el CONICET y la Universidad de Buenos Aires.

Al igual que en el análisis de las redes internacionales de colaboración, y con el fin de dar cuenta de la relación entre el volumen de publicaciones de una institución y sus vinculaciones, en la Figura 5.32 se distribuyen las instituciones analizadas en un plano definido por la cantidad de artículos publicados en SCI durante 2007 en el eje x y el grado normalizado (relaciones efectivas / relaciones posibles) de cada nodo en el eje y. Se ha trazado también una línea de regresión para poder observar la posición relativa de cada uno con respecto al conjunto. El gráfico sólo incluye las diez instituciones más productivas en 2007, mientras que los datos para la totalidad de las instituciones observadas en este apartado se presentan en el Cuadro 5.3.

Figura 5.32: Cantidad de publicaciones y grado normalizado (2007)



El CSIC, la institución con mayor producción a nivel regional, tiene también la mayor centralidad medida mediante el grado y se sitúa sobre la línea de regresión. La Universidad de San Pablo, con un volumen de producción menor, se ubica también en un punto equilibrado de publicaciones y centralidad con respecto a la muestra de las diez instituciones más productivas de Iberoamérica en este campo. El CONICET, en cambio, con un volumen de artículos similar al de la universidad brasileña, presenta una centralidad bastante mayor, dando cuenta de sus fuertes relaciones a nivel regional.

Otras dos instituciones se destacan por la diversidad de sus vínculos en relación con el volumen de su producción. El primer caso es el de la Universidad Estadual de Campinas, que con sólo el 63 % de la producción de la Universidad de San Pablo, tiene un valor equivalente en el indicador de grado. Esta alta tasa de colaboración puede estar sustentada en buena medida en la disponibilidad de equipamiento crítico para la investigación en nanotecnología, dado que en esa ciudad tiene sede el único sincrotrón del hemisferio sur, ubicado en el Laboratorio Nacional de Luz Sincrotrón.

Un caso similar es el de la Universidad Autónoma de Barcelona, que con incluso menos volumen de producción alcanza una centralidad similar a la de las principales universidades brasileñas en la red de nanotecnología. Se trata de una

Cuadro 5.3: Publicaciones y grado normalizado de las veinte principales instituciones (2007)

Instituciones	Cantidad de publicaciones	Grado normalizado
CSIC-España	402	0,75
CONICET-Argentina	220	0,58
UNIV SAO PAULO-Brasil	214	0,46
UNAM-México	153	0,21
UNIV ESTADUAL CAMPINAS-Brasil	135	0,46
UNIV BARCELONA-España	133	0,29
UNIV AUTONOMA MADRID-España	108	0,32
UNIV AVEIRO-Portugal	82	0,32
UNIV COMPLUTENSE MADRID-España	75	0,13
UNIV AUTONOMA BARCELONA-España	75	0,46
UNIV FED SAO CARLOS-Brasil	74	0,32
UNIV VALENCIA-España	73	0,38
UNIV POLITECN VALENCIA-España	67	0,21
UNIV FED RIO DE JANEIRO-Brasil	67	0,38
UNIV ZARAGOZA-España	62	0,29
UNIV PORTO-Portugal	59	0,25
UNIV BUENOS AIRES-Argentina	58	0,37
UNIV FED MINAS GERAIS-Brasil	56	0,21
COMIS NAC ENERG ATOM-Argentina	52	0,34
IPN-México	51	0,13
UNIV NAC DE LA PLATA – Argentina	48	0,25
UNIV PAIS VASCO – España	48	0,25
UNIV COIMBRA – Portugal	47	0,21
UNIV SANT DE COMPOSTELA - España	45	0,29
INST SUPER TECN - Portugal	44	0,13

universidad española con fuerte presencia en este campo y que cuenta con fuertes iniciativas tanto en investigación como en formación de recursos humanos en nanotecnología.

Por el contrario, la institución que menos vinculaciones presenta en la red de las veinte más productivas en nanotecnología es la UNAM, que a pesar de ser la cuarta en cuanto a cantidad de artículos en 2007, presenta uno de los niveles más bajos de centralidad entre las diez primeras.

El otro caso de escasa vinculación regional es la Universidad Complutense de Madrid, que mantiene en 2007 un nivel de centralidad aún menor que la UNAM, aunque con la mitad de su volumen de producción. Esta universidad española

sólo cuenta con vínculos con otras tres de las veinticinco más productivas a nivel iberoamericano, todas ellas españolas.

5.3.6. La composición disciplinar de la nanotecnología

Las herramientas de análisis de redes permiten dar cuenta de la estructura de la investigación en el complejo y multidisciplinario campo de la nanotecnología. Una fuente de gran calidad para ello son las citas a otros documentos que los autores incluyen en sus artículos, ya que de ellas puede extraerse el marco de referencia general sobre los temas a los que hacen referencia. Esas citas señalan trabajos en otras revistas, a las que las bases de datos internacionales como el SCI asignan disciplinas. Asumiendo que si un autor cita trabajos de dos disciplinas diferentes es porque su labor está vinculada a ambas, es posible construir una red a partir de la citación conjunta de disciplinas en un conjunto de artículos científicos. A modo de ejemplo, si los autores que producen en el campo de la nanotecnología citan de manera conjunta artículos publicados en revistas dedicadas a la física y trabajos aparecidos en revistas dedicadas a la química, es posible asumir que se trata de dos disciplinas fuertemente vinculadas en las actividades de investigación en nanotecnología. Este análisis, llevado a campos disciplinarios más detallados resulta muy útil para observar las tendencias, orientaciones y estructuras básicas de la investigación en los diferentes países.

En la Figura 5.33 se observa la red de disciplinas científicas que se construye a partir de las co-citaciones para el total de los artículos en nanotecnología publicados en 2007, que cuenta con un total de 106 disciplinas citadas. El volumen de los nodos representa la cantidad de citas recibidas por cada disciplina y la intensidad de los lazos da cuenta de las veces en que esas disciplinas han sido citadas a la vez en los artículos recopilados. Para una mejor visualización y análisis, se ha recurrido una vez más a las técnicas de poda utilizadas en las redes de países presentadas anteriormente.

En términos de la gran cantidad de citas que reciben, pero también de la fuerte intensidad de las relaciones existentes entre ellas, se destacan fuertemente seis disciplinas: Química (14.688 citas), Ciencia de los materiales (12.489), Física (12.084), Ciencia de los polímeros (7.244), Ingeniería (5.537), y Bioquímica y biología molecular (4.600).

La disciplina con más citas, Química, funciona como núcleo de un primer bloque temático susceptible de ser delimitado en el entramado general. Ella presenta fuertes relaciones con otras tres importantes disciplinas antes mencionadas, como Ciencia de los materiales, Ciencia de los polímeros, y Bioquímica y biología molecular. A su vez, está vinculada con varias áreas más pequeñas: Cristalografía, Instrumentos e instrumentación, Electroquímica, Farmacología y farmacia (y a través de ella, con Toxicología y Abuso de sustancias), Ciencia y tecnología de los alimentos, Ciencias del ambiente, Energía y combustible, y Geociencias (y a través de ella, con Agricultura, Agricultura económica y política, Economía, Geografía, Arqueología, Geología, Paleontología y Oceanografía), entre otras.

Un segundo bloque temático fuertemente conectado entre sí, está conformado por otras tres importantes disciplinas referidas más arriba: Ciencia de los materiales, Física e Ingeniería. Las notorias vinculaciones entre Ciencias de los

The diagram is a network graph where nodes represent scientific disciplines and edges represent relationships or interdisciplinary connections. The nodes are represented by red circles of varying sizes, with the size likely indicating the degree of connectivity or the centrality of the discipline. The edges are blue lines of varying thickness, representing the strength or nature of the relationship between disciplines.

Central Node: Chemistry

Major Hubs and Their Connections:

- Physics:** Connected to Thermodynamics, Optics, Mechanics, Spectroscopy, Acoustics, Radiology, Metallurgy & Metallurgical Engineering, Mineralogy, Geochemistry & Geophysics, and Materials Science.
- Engineering:** Connected to Sport Sciences, Automation & Control Systems, Orthopedics, Water Resources, Forestry, Mining & Mineral Processing, Microscopy, and Materials Science.
- Medicine:** Connected to Emergency Medicine, Transplantation, Dermatology, Critical Care Medicine, Dentistry, Pediatrics Infectious Diseases, Respiratory System, Otolithology, Otorhinolaryngology, Computer Science, Mathematics, and Biochemical Research Methods.
- Biology:** Connected to Microbiology, Cell Biology, Genetics & Heredity, Evolutionary Biology, Biotechnology & Applied Microbiology, Ecology, Biodiversity Conservation, Zoology, Parasitology, Fishes, Marine & Freshwater Biology, and Entomology.
- Earth Sciences:** Connected to Geology, Paleontology, Archaeology, Geophysics, Geochemistry & Geophysics, Mineralogy, Metallurgy & Metallurgical Engineering, Environmental Sciences, Energy & Fuels, Food Science & Technology, and Polymer Science.

Other Disciplines and Connections:

- Public Health & Social Sciences:** Public, Substance Abuse, Toxicology, Pharmacology & Pharmacy, Instruments & Instrumentation, History & Philosophy Of Science, and Statistics & Probability.
- Life Sciences & Agriculture:** Veterinary Sciences, Allergy, Immunology, Gastroenterology & Hepatology, Mycology, Plant Sciences, Agronomy, Horticulture, Cardiac & Cardiovascular System, Behavioral Sciences, Peripheral Vascular Disease, Hematology, Rheumatology, Genetics & Gerontology, Andrology, Developmental Biology, Anatomy & Morphology, Pathology, Reproductive Biology, and Obstetrics & Gynecology.
- Interdisciplinary Fields:** Biochemistry & Molecular Biology, Microbiology, Cell Biology, Genetics & Heredity, Evolutionary Biology, Biotechnology & Applied Microbiology, Ecology, Biodiversity Conservation, Zoology, Parasitology, Fishes, Marine & Freshwater Biology, and Entomology.

Finalmente, es posible distinguir un tercer bloque temático articulado alrededor de Bioquímica y biología molecular. Cabe destacar que se trata de la subred que presenta la mayor cantidad de disciplinas científicas conectadas entre sí y con el área central, dando lugar a una estructura fuertemente ramificada, aunque estando aislada de las disciplinas principales antes mencionadas. Entre las principales “ramas” que componen este árbol temático se encuentran, en orden decreciente de citaciones recibidas:

- 139

Matemáticas, Ciencia de la computación, y Estadísticas y Probabilidad)

- Biofísica
- Genética y herencia (a través de la cual se vinculan Biotecnología y microbiología aplicada –y con ella, Biología marina y de agua dulce, Zoología, Parasitología e Industria pesquera-, Biología evolutiva –y con ella, Ecología y Conservación de la biodiversidad-, Entomología y Ornitología)
- Hematología (a través de la cual se conectan Sistemas cardíacos y cardiovasculares, Enfermedades vasculares periféricas y Ciencias del comportamiento)
- Neurociencias (a través de las cuales se articulan Neurología clínica, Anestesiología, Psiquiatría y Neuroimágenes)
- Oncología
- Medicina (a través de la cual se conectan Otorrinolaringología, Sistema respiratorio, Pediatría y Odontología)
- Biología (a través de la cual se vinculan Astronomía y astrofísica, y Fisiología)
- Endocrinología y metabolismo (a través de la cual se vinculan Urología y necrología)
- Inmunología (a través de la cual se conectan Cirugía -y con ella, Trasplante, Dermatología, Medicina de emergencia y Medicina de cuidados críticos-, Enfermedades infecciosas, Ciencias veterinarias y Alergia)

En la Figura 5.34 se presenta la red de disciplinas científicas emergente de las co-citaciones para los artículos en nanotecnología del conjunto de Iberoamérica publicados en 2007, que cuenta con 93 disciplinas citadas. Se trata de una red temática prácticamente idéntica a la del total mundial, tanto por las disciplinas referenciadas (todas ellas las más importantes en la red mundial) como por su estructura básica de nodos centrales y de interrelaciones entre las diferentes disciplinas, aunque con algunas ramificaciones menos, como resulta lógico por el menor número de temas.

Las disciplinas principales en la red iberoamericana son, siguiendo la tendencia mundial, Química (con 936 citas), Física (862), Ciencia de los materiales (849), Ingeniería (388), Ciencia de los polímeros (385), y Bioquímica y biología molecular (242).

Al igual que en la red del total mundial, en el entramado iberoamericano es posible delimitar tres importantes bloques temáticos: uno articulado alrededor de Química, la principal disciplina en términos cuantitativos; otro fuertemente conectado entre sí, conformado fundamentalmente por la trilogía Ciencia de los materiales-Física-Ingeniería; y finalmente un bloque temático organizado alrededor de Bioquímica y biología molecular, que a su vez resulta la subred de disciplinas con mayores ramificaciones (y la que más disciplinas interrelaciona, 52 de las 93 presentes en la región).

[illegible]

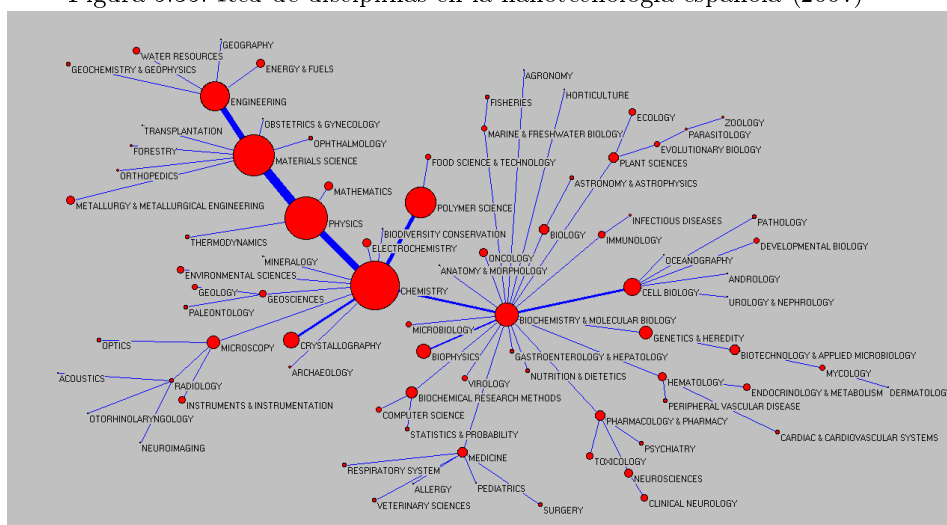
- En la producción científica en nanotecnología de Iberoamérica en 2007, Farmacología y farmacia (62 citas) (y a través de ella, Toxicología y Psiquiatría) está relacionada con Bioquímica y biología molecular, a diferencia de la red mundial en la que aparece conectada con Química
- Microscopía (61 citas) está articulada a Química en la red iberoamericana, mientras en la red mundial aparece directamente relacionada con Ciencia de los materiales
- Matemáticas (41 citas) (y a través de ella, Ciencias de la computación) aparece articulada a Física, mientras en el total mundial está vinculada a Bioquímica y biología molecular a través de Métodos de investigación bioquímicos
- Energía y combustible (29 citas) aparece vinculada a Ingeniería (junto con Recursos del agua, Geografía, Oceanografía, y Geoquímica y geofísica), en lugar de a Química como en el total mundial

141

con menor volumen de producción científica relativa (México, Portugal y Argentina) algunas asociaciones temáticas entre disciplinas de escaso volumen son el resultado de muy pocas publicaciones (o inclusive, de una sola), por lo que no serán tenidas en cuenta en el análisis.

En la Figura 5.35 se muestra la red temática resultante de las co-citaciones correspondientes a los artículos españoles en nanotecnología en 2007. Es una red compuesta por 83 disciplinas, cuya composición temática y estructura de nodos centrales resultan casi idénticas a las observadas en la red del conjunto de Iberoamérica, pero con algunas interesantes diferencias en las relaciones entre algunas disciplinas claves.

Figura 5.35: Red de disciplinas en la nanotecnología española (2007)

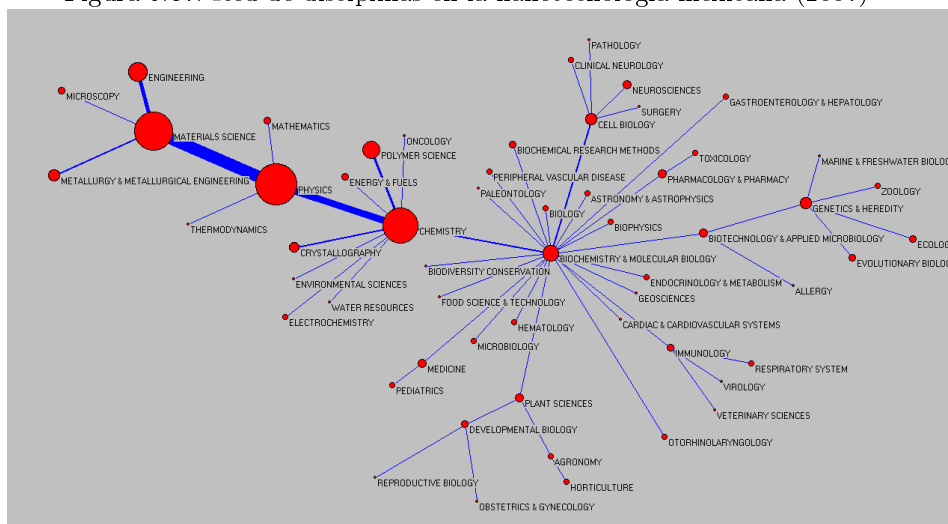


Una primera diferencia a destacar tiene que ver con los vínculos entre las principales disciplinas en materia de producción científica en nanotecnología. Se observa una fuerte interconexión lineal entre Química, Física, Ciencia de los materiales e Ingeniería, marcando una importante divergencia tanto con la estructura de la red mundial como con la del conjunto iberoamericano (ambas con Ciencia de los materiales mediando entre Química y Física).

Una segunda diferencia interesante es que Microscopía, que está vinculada al gran bloque temático de Química al igual que en la red iberoamericana, articula ella misma no sólo a Instrumentos e instrumentación (como lo hace en la red regional) sino también a Óptica y Radiología (que a su vez presenta tres pequeñas “ramificaciones” temáticas producidas a partir de Acústica, Otorrinolaringología y Neuroimágenes).

Finalmente, una tercera diferencia observada es que las disciplinas y sub-disciplinas Ecología y Biología del desarrollo (y, a través de esta última, Parasitología y Zoología), aparecen conformando una pequeña subred temática alrededor de Ciencias de las plantas (en lugar de articularse a Genética y herencia, como en la red general de Iberoamérica), conectada a su vez (en ambos casos) con el bloque Bioquímica y biología molecular.

Figura 5.37: Red de disciplinas en la nanotecnología mexicana (2007)



Se observa la conexión lineal entre Química, Física, Ciencia de los materiales e Ingeniería identificada en el caso español (a diferencia de la red iberoamericana, con Ciencia de los materiales mediando entre Química y Física, y con Ingeniería poco involucrada en el campo, también a diferencia de la red del conjunto regional), lo cual puede estar relacionado con el hecho de que España es el segundo país de copublicación internacional de México en nanotecnología.

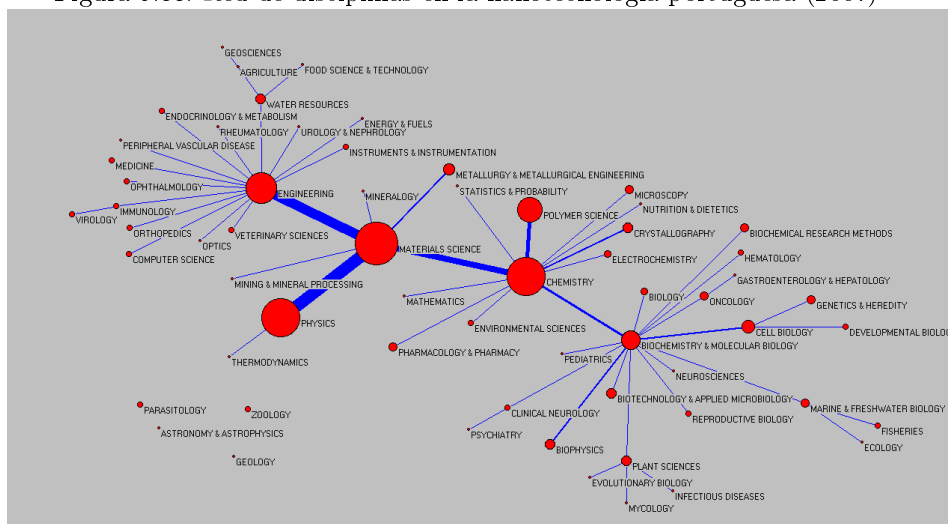
Asimismo, se observan algunas diferencias en las agrupaciones entre disciplinas y sub-disciplinas científicas articuladas a Bioquímica y biología molecular. Entre ellas, cabe señalar que Biología del desarrollo (y a través de ella, Biología reproductiva, y Obstetricia y Ginecología) y Agronomía (y a través de ella Horticultura) aparecen conformando una pequeña subred temática alrededor de Ciencias de las plantas (en lugar de relacionarse con Genética y herencia, o Biología celular, como en la red general de Iberoamérica).

La Figura 5.38 muestra la red de disciplinas emergente de las co-citaciones realizadas por los artículos portugueses en nanotecnología, compuesta por 62 disciplinas y con una estructura básica bastante parecida en términos generales a la del total iberoamericano especialmente en cuanto a las disciplinas y sub-disciplinas que articula. Un conjunto de diferencias con ella puede, no obstante, marcarse al examinarlas en clave comparada.

Una primera diferencia significativa es que el bloque temático central no es Química como en las demás redes analizadas hasta aquí, sino Ciencia de los materiales (posicionada en el tercer lugar en la red iberoamericana según la cantidad de citas recibidas).

Una segunda diferencia a destacar está dada por las “ramificaciones” que presenta el bloque temático Ingeniería, situación única entre las redes consideradas y que podría estar indicando el interés local en desarrollar aplicaciones en este área. Se trata de una estructura básicamente radial, que articula casi a la tercera parte (18) de las disciplinas de la red nacional: Recursos del agua (y, a

Figura 5.38: Red de disciplinas en la nanotecnología portuguesa (2007)



través de ella, Agricultura, Geociencias, y Ciencia y tecnología de los alimentos), Endocrinología y metabolismo, Medicina, Inmunología (y a través de ella, Virología), Oftalmología, Ortopedia, Óptica, Ciencias veterinarias, Ciencias de la computación, Instrumentos e instrumentación, entre otras.

Una tercera diferencia importante está dada por la presencia de una estructura poco ramificada alrededor de Bioquímica y biología molecular. Si bien articula a 22 disciplinas portuguesas, la proporción es notablemente menor (dos terceras partes frente a más de la mitad) a la de las “ramificaciones” que muestra este gran bloque temático en la red emergente para el conjunto de la producción científica en nanotecnología de Iberoamérica.

Finalmente, se observan algunas disciplinas y sub-disciplinas desconectadas: Parasitología, Zoología, Astronomía y astrofísica, y Geología, todas ellas con pocas citas.

Para concluir con esta sección, en la Figura 5.39 se presenta la red de disciplinas científicas construida a partir de las co-citaciones para los artículos en nanotecnología publicados por investigadores argentinos en 2007.

Su tamaño, en términos de cantidad de nodos, es prácticamente la mitad de la red correspondiente al total iberoamericano, recuperándose en este caso 45 disciplinas citadas. Se conservan las principales disciplinas líderes (por cantidad relativa de citas e intensidad de las relaciones que articulan) observadas para el total regional, así como la estructura básica de los principales vínculos entre ellas, pero con valores de citas muy pequeños dado el volumen mucho menor de la producción científica argentina en las bases de datos consideradas. Las conexiones más fuertes se producen entre las tres primeras disciplinas: Física, Ciencia de los materiales (intensamente vinculada a Ingeniería) y Química (intensamente conectada, a su vez, con Ciencia de los polímeros).

Puede afirmarse que, a pesar de contar con una complejidad y diversificación mucho menor, el campo representado por las co-citaciones de los artículos argen-

5.4. Desarrollo tecnológico en nanotecnología

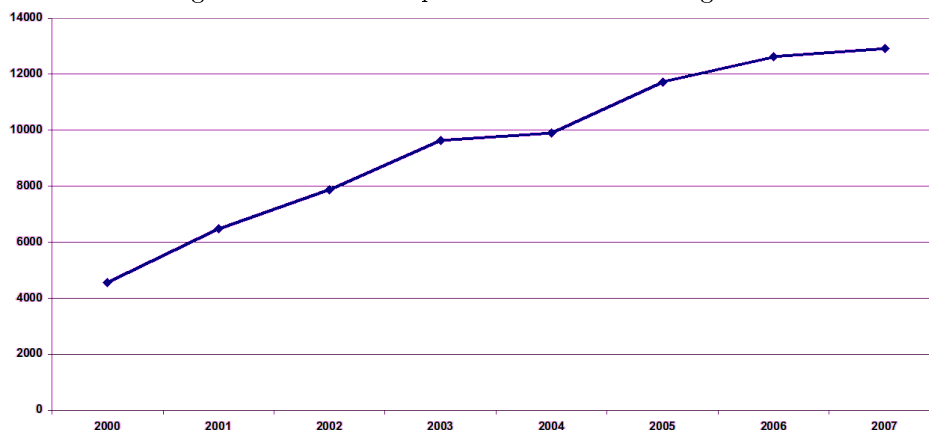
5.4.1. La evolución del patentamiento en nanotecnología

146

La solicitud y el mantenimiento de patentes internacionales registradas mediante el tratado PCT son costosos en términos económicos y de gestión, por lo que sólo suelen registrarse allí los inventos con un potencial económico o estratégico importante. Es importante aclarar que no se han tomado datos de las oficinas nacionales de propiedad intelectual de cada uno de los países. La selección del convenio PCT como fuente se basó en ese criterio de calidad y comparatividad, apuntando a relevar con precisión los avances tecnológicos de punta a nivel mundial y en una misma fuente para todos los países.

Como se puede observar en la Figura 5.40, se trata de un campo que está en fuerte crecimiento, pasando en ese período de 4.555 a 12.924 patentes, lo que equivale a un incremento del 183 % entre puntas. La tendencia es además de un aumento estable, con un importante crecimiento en los primeros años, sobre todo en 2001 con un aumento del 42 % en relación a cada año anterior.

Figura 5.40: Total de patentes en nanotecnología



Iberoamérica es poseedora de apenas el 0,74 % de las patentes en nanotecnología registradas en la base PCT durante 2000-2007, con 560 registros. No obstante ello, como muestra la Figura 5.41, el crecimiento de la región en materia de desarrollo tecnológico en este complejo e interdisciplinario campo es mucho más fuerte que el observado para el total mundial: pasa de 13 a 133 patentes durante el período de referencia, lo cual significa un incremento relativo de más de diez veces entre puntas.

La tendencia iberoamericana es, además, de un aumento sostenido. Los mayores crecimientos se registran en los mismos años que en el total mundial (2001 y 2005), cuando con 35 y 104 registros respectivamente se produjeron incrementos del 169 % y 62 % en relación a cada uno de los años indicados.

Las diferencias de evolución entre el total mundial y el total iberoamericano de patentes en nanotecnología durante 2000-2007 recién señaladas quedan aún más claras en la Figura 5.42, que compara los crecimientos relativos de tales títulos de propiedad industrial para ambos conjuntos considerando al año 2000 como el año base. El crecimiento iberoamericano, como puede observarse, resulta muchísimo mayor que el registrado para el total mundial, siendo especialmente significativo a partir de 2003.

Figura 5.41: Total de patentes iberoamericanas en nanotecnología

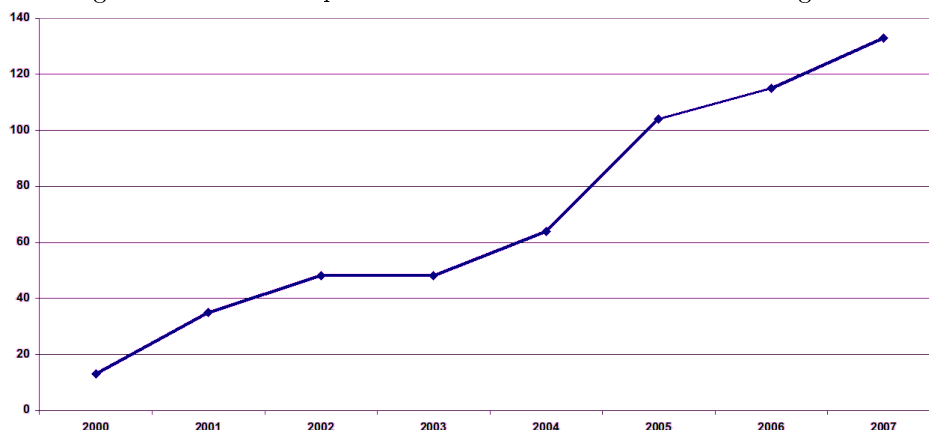
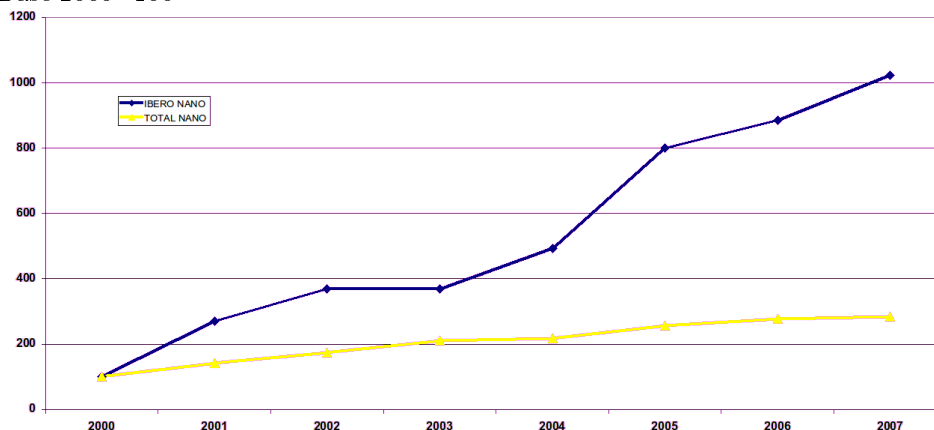


Figura 5.42: Total de patentes mundiales e iberoamericanas en nanotecnología. Base 2000=100

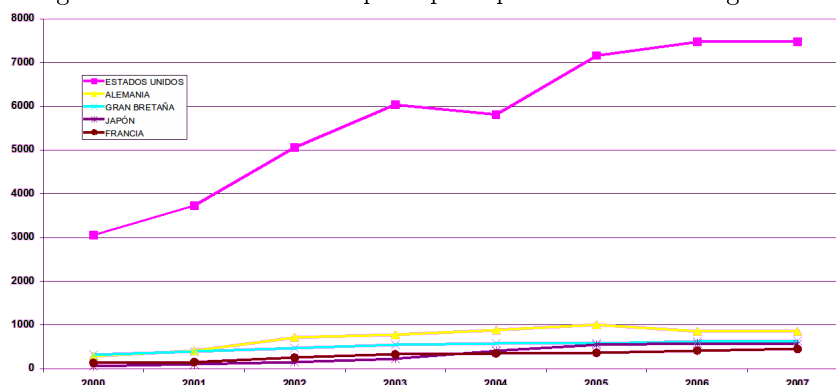


Si se analizan los países más importantes en materia de desarrollo tecnológico en este campo, el primer lugar lo ocupa Estados Unidos por un amplio margen. Con participación en la titularidad de 45.798 registros, ese país reúne más del 60 % de las patentes totales consideradas en este estudio. La Figura 5.43 presenta la evolución, entre 2000 y 2007, de las patentes registradas por los cinco países con mayor frecuencia acumulada durante ese período, de acuerdo a la nacionalidad de uno o todos sus titulares.

Como resulta evidente, dado el amplio volumen de patentamiento estadounidense, su evolución guarda una gran similitud con la del total mundial. El marcado crecimiento de la cantidad de patentes de ese país en 2005 revierte la tendencia luego de un leve descenso registrado en 2004, el cual sin embargo es compensado en el total mundial por el crecimiento de las patentes registradas por residentes en otros países, principalmente Alemania y Japón.

El ranking de los primeros cinco países que patentan en este campo lo completan

Figura 5.43: Patentes de los principales países del mundo según su titular



Alemania (que ocupa una mejor posición que la que ocupaba en el ranking de publicaciones, en el que estaba en el cuarto puesto), Gran Bretaña (que, en el tercer lugar, ocupa una posición mejor que la que ocupa en términos de publicaciones, donde aparece en el sexto), Japón (que desciende un puesto con respecto al ranking de publicaciones) y Francia (que ocupa el quinto lugar como en el ranking de producción científica), en ese orden. Sin embargo, como se señaló anteriormente, todos ellos tienen un volumen de patentes obtenidas notoriamente menores al que posee Estados Unidos, menores al 7 % de la producción mundial durante el período de referencia.

Es llamativo también que China, el segundo país en publicaciones no aparece en los primeros lugares. Ese país ocupa el puesto número veintidós, señalando un patrón muy distinto al resto en cuanto a la relación entre los productos más claros de la investigación científica y del desarrollo tecnológico.

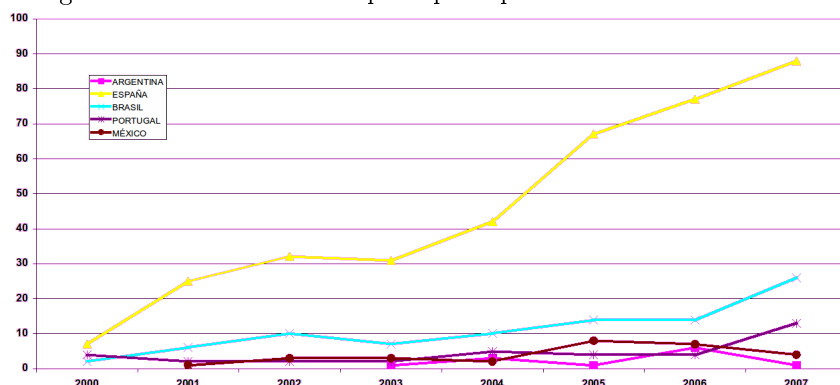
La Figura 5.44 permite observar el patentamiento en nanotecnología de los cinco principales países iberoamericanos en esta materia durante 2000-2007. En el caso iberoamericano, los países son los mismos que los que concentran la mayor producción científica en este campo durante el mismo período, con una única diferencia de orden: Portugal y México intercambian los terceros y cuartos puestos, siendo el país europeo el que ocupa la delantera sobre México en patentes de su titularidad.

El desempeño de España se destaca nuevamente por concentrar el 65 % de las patentes iberoamericanas en nanotecnología en todo el período y su crecimiento sostenido, ascendiendo de 7 títulos en 2000 a 88 en 2007.

En segundo lugar durante todo el período de referencia se encuentra Brasil, propietario del 17,2 % de las patentes iberoamericanas en nanotecnología y presentando también un crecimiento continuo (con un leve descenso en 2003), aumentando doce veces su participación en la base de datos PCT relativa a este campo.

Ocupando el tercer, el cuarto y el quinto lugar en la región están Portugal, México y Argentina respectivamente, aunque con pequeños volúmenes de títulos acumulados durante el período de referencia. Portugal es el único de estos

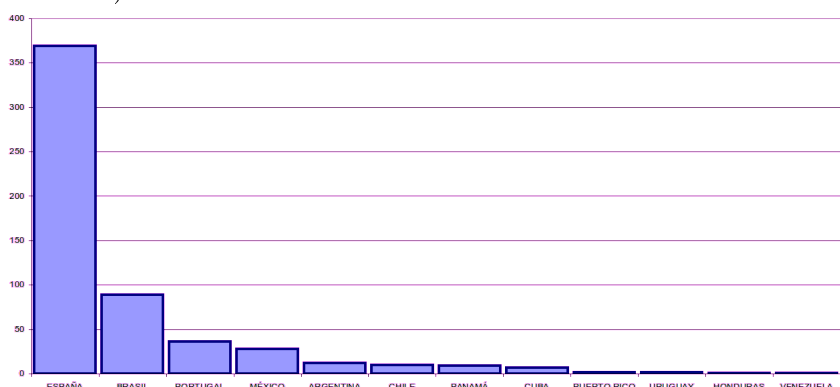
Figura 5.44: Patentes de los principales países iberoamericanos su titular



tres países que tiene una presencia constante durante todo el período analizado, registrando un fuerte incremento en 2007. México no presenta patentes de su titularidad en 2000, y un crecimiento relativamente errático (con la mayor cantidad de registros durante 2005-2006). Argentina sólo muestra patentes en este campo durante 2003-2007, concentrando la mitad de sus títulos en 2006.

En la Figura 5.45 se observa la participación de cada país iberoamericano en el conjunto de las patentes de invención en nanotecnología de la región acumulado durante 2000-2007. España sobresale notoriamente por su gran volumen de títulos registrados, con 369 patentes. Brasil ocupa el segundo puesto, con 89 títulos. En tercer lugar se ubica Portugal, que registra 36 patentes. México, en el cuarto lugar, presenta 28 títulos y Argentina, en el quinto, 12 patentes de invención en nanotecnología. A los cinco principales países iberoamericanos siguen, en orden decreciente, Chile (con 10 patentes), Panamá (con 9), Cuba (con 7), Puerto Rico y Uruguay (con 2 títulos cada uno), Honduras y Venezuela (con sólo 1 patente cada uno).

Figura 5.45: Patentes de los países iberoamericanos según su titular (acumulado 2000-2007)



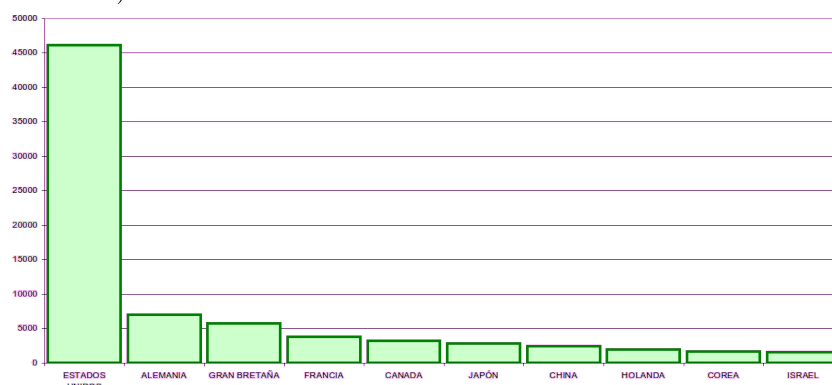
En resumen, la presencia de los países iberoamericanos, con la excepción de los europeos, Brasil y México, es muy limitada. Esto sigue una trayectoria común

a la mayor parte de los países latinoamericanos, en los que el sector privado (principal actor en el registro de patentes) no resulta demasiado dinámico en las actividades de I+D que pueden dar como resultado títulos de propiedad industrial.

Los documentos de patente, además de los datos correspondientes a los titulares de cada invención –quienes tienen todos los derechos de explotación o licenciamiento- cuentan con información sobre el o los inventores que participaron de su concepción, aunque sólo se trata de un reconocimiento al trabajo, sin derechos de propiedad sobre el invento. Este dato informa acerca de la actividad de los tecnólogos de cada país en este campo, aunque el dato da cuenta de la nacionalidad y no del lugar de trabajo fuera de su país de origen.

Si se observa la participación de los inventores de cada país en el conjunto de las patentes otorgadas, entre los países más activos en el mundo en nanotecnología la posición ubicada no presenta grandes variaciones con respecto al ranking de los titulares. Esta información se presenta en la Figura 5.46, incluyendo la relación de posiciones de los diez países de mayor presencia entre los inventores.

Figura 5.46: Patentes en nanotecnología según país del inventor (acumulado 2000-2007)

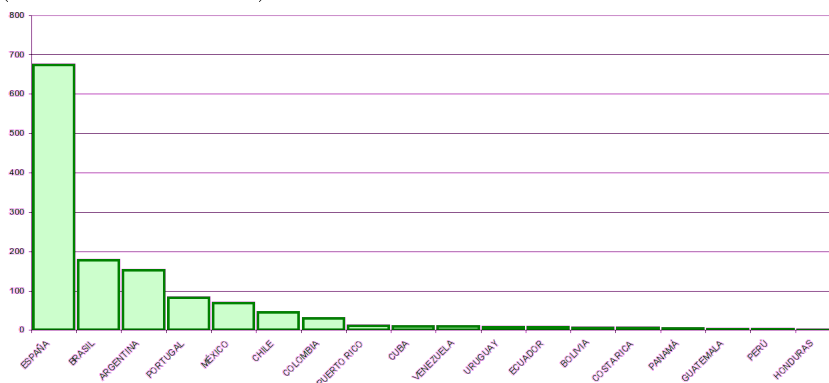


Cabe destacar el caso de China, ubicada en el séptimo lugar entre los inventores mientras en el ranking de titulares ocupaba el vigésimo segundo puesto. Este dato es interesante si se compara con los resultados de ese país en términos de publicaciones científicas, donde los investigadores chinos ocupan el segundo lugar en el mundo. Parece tratarse de un país que cuenta con una base científica importante en este campo, aunque aún no traduce esas capacidades en desarrollos tecnológicos patentados. Otro caso muy diferente a destacar es el de Japón, que ocupaba el cuarto lugar en el ranking de titulares y entre los inventores ocupa el sexto lugar. Entre los cinco primeros aparece Canadá, que entre los titulares ocupaba el puesto número siete; completando el grupo de los diez países líderes en materia de inventores Holanda, Corea e Israel.

En Iberoamérica puede observarse que los principales países en materia de inventores de las patentes en nanotecnología son los mismos que concentraban la mayor cantidad de titularidades. Sin embargo, hay interesantes matices que cabe resaltar: luego de España y Brasil, que ocupan los dos primeros puestos

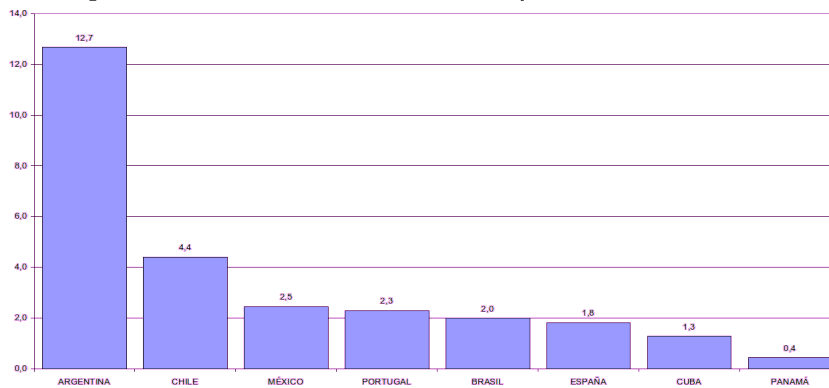
(con 673 y 178 títulos respectivamente, con inventores de nacionalidad española o brasileña), se ubica Argentina (con 152 patentes), que ostentaba un más lejano quinto puesto en el ranking de titulares. Portugal (83 patentes) y México (69 títulos) ocupan el cuarto y quinto puesto respectivamente, seguidos por Chile (44 patentes) en el sexto lugar (en los tres casos, respetando el orden del ranking de titulares). Cabe resaltar especialmente el caso de Colombia, país que no registraba ninguna patente de invención en nanotecnología durante el período analizado pero que emerge en el séptimo puesto de países de nacionalidad de los inventores, con 29 títulos.

Figura 5.47: Patentes en nanotecnología según país iberoamericano del inventor (acumulado 2000-2007)



La Figura 5.48 muestra la relación entre titularidad y participación de inventores en patentes de nanotecnología de los países iberoamericanos que tienen más de cinco patentes durante 2000-2007. Según los países, esa relación puede tener que ver con dos aspectos bien diferentes: por un lado, las características de sus sistemas de desarrollo tecnológico e innovación, que pueden ser más o menos propensos al patentamiento; por el otro, la proyección internacional de sus investigadores, que puede llevarlos a puestos de trabajo en empresas multinacionales con una fuerte tendencia a patentar sus desarrollos.

Figura 5.48: Relación entre titularidad y participación de inventores



La relación puede expresarse en el número de patentes con inventores de un país, sobre la cantidad de patentes con inventores locales. Como puede observarse, se cuentan 12,7 patentes con inventores de nacionalidad argentina por cada una de titularidad nacional. Esa relación es, por amplio margen, la más alta de la región, a pesar de ser el tercer país en titularidad de patentes. Esto implica una fuerte proyección de los nanotecnólogos formados en Argentina en el exterior y, a la vez, un débil desempeño de las empresas en materia de invención y patentamiento en este campo.

Esta relación de patentes con inventores y patentes de titulares en los otros cuatro países de mayor desarrollo relativo de la región es mucho menor, con 1,8 para España, 2 para Brasil, 2,3 para Portugal y 2,5 para México. En los países de menor desarrollo relativo en la región se cuenta un caso de fuerte presencia de inventores locales, Chile (con una relación de 4,4), al que se suma Cuba, con 1,3.

Un caso que resulta llamativo es el de Panamá, en el que la relación resulta inversa, con más presencia entre los titulares que entre los inventores. Este país, con un sistema científico, tecnológico y de innovación relativamente pequeño, registra un total de nueve patentes, casi al mismo nivel de Chile. Esto parece estar dado por ciertas características del país que favorecen la instalación de empresas multinacionales, ya que, mientras que en el resto de los países latinoamericanos una parte de los titulares siempre corresponde al sistema de I+D público, el 100 % de las patentes panameñas corresponden a las filiales locales de empresas internacionales.

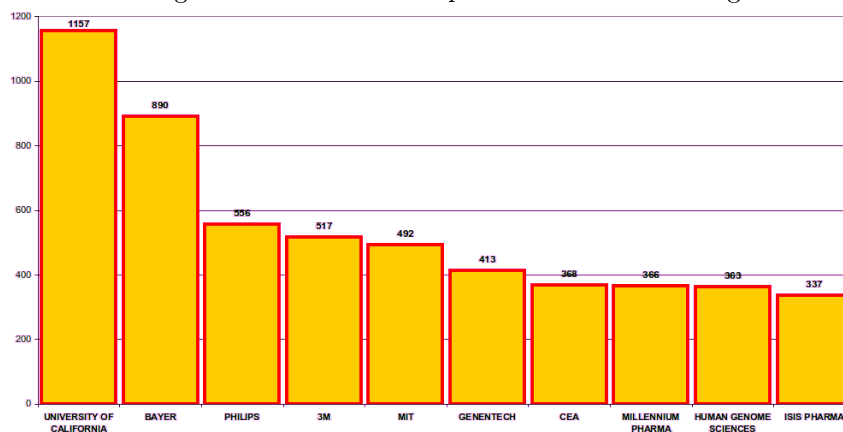
5.4.2. Principales titulares de patentes nanotecnológicas

Como se ha visto anteriormente, la nanotecnología es un campo muy dinámico en términos de patentamiento, con un potencial económico muy claro y en el que la competencia es muy clara entre empresas multinacionales de primer nivel. Sin embargo, los desarrollos tecnológicos y la innovación que se producen en este área están fuertemente ligados a la investigación científica, incluso a la de carácter más básico.

Esta dualidad se hace evidente en el análisis de los principales titulares de patentes en la WIPO (Figura 5.49). El primer lugar, y con un margen significativo, lo ocupa una institución académica: la Universidad de California, con un total de 1.157 patentes obtenidas entre 2000 y 2007. Entre los diez mayores titulares de patentes en nanotecnología publicadas mediante el tratado PCT aparece también el Massachusetts Institute of Technology (MIT) norteamericano, en el quinto lugar con 492 patentes, y el Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) francés, en el séptimo lugar, con 368 títulos acumulados en el período analizado.

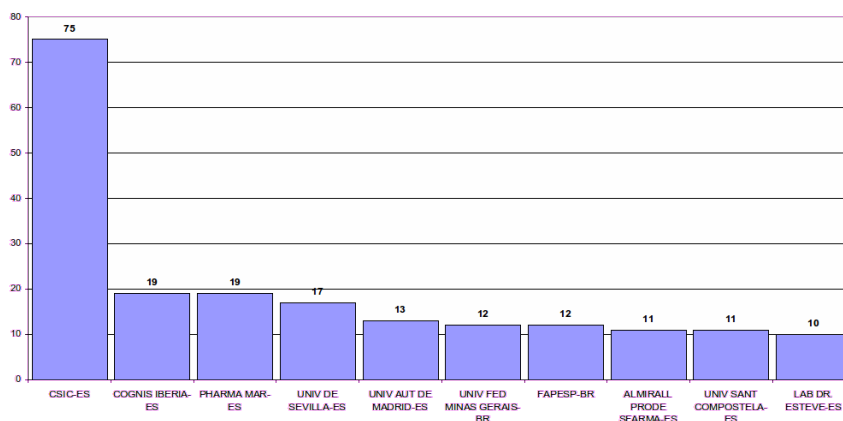
El resto de la lista de los diez máximos titulares de patentes se completa con empresas multinacionales con actividad en diversos ámbitos, que van desde la electrónica y los materiales hasta la farmacéutica y la biotecnología. En el segundo lugar aparece la farmacéutica Bayer, con 890 patentes registradas en el período analizado, seguida por Philips con 556 títulos. Luego siguen importantes empresas farmacéuticas: Genentech, con 413, Millenium, con un total de 356 patentes, Human Genome Sciences e Isis, con 353 y 337 respectivamente.

Figura 5.49: Titulares de patentes en nanotecnología



Para analizar el panorama en Iberoamérica es necesario considerar que existe una clara diferencia entre España y el resto del bloque regional. Este hecho queda evidenciado al observar el número total de las patentes de la región, de las que ese país participa en el 65 %. En ese sentido, y como se observa en la Figura 5.50, ocho de los diez principales titulares son españoles.

Figura 5.50: Titulares iberoamericanos de patentes en nanotecnología



En este caso también aparece la dualidad entre las empresas y el sector académico ya vista a nivel mundial. El máximo titular iberoamericano de patentes nanotecnológicas es el CSIC español, que acumuló 75 patentes gestionadas mediante el tratado PCT entre 2000 y 2007. Por otra parte, la polarización en torno a esta institución es también muy fuerte, participando en el 20 % de las patentes nanotecnológicas totales de España y superando en más de tres veces a quienes lo siguen a nivel iberoamericano: la empresa química Cognis y la farmacéutica Pharma Mar, ambas también españolas y con un total de 19 registros en el mismo período.

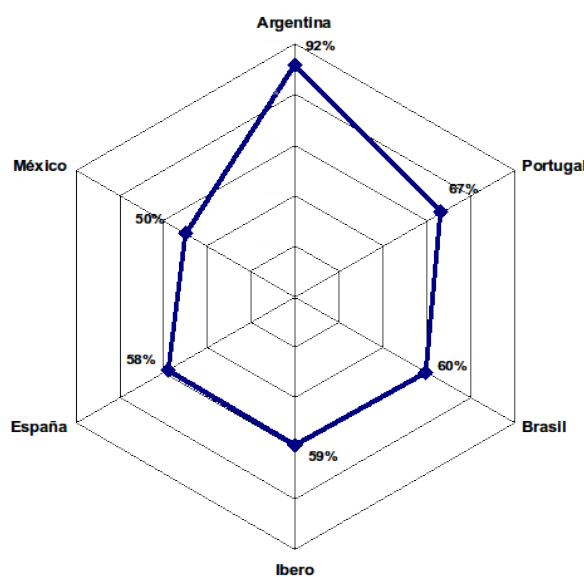
Por otra parte, existe una fuerte presencia también de las universidades espa-

ñas. En el cuarto y quinto lugar, respectivamente, aparecen la Universidad de Sevilla y la Autónoma de Madrid, con 17 y 13 patentes WIPO acumuladas entre 2000 y 2007. Aparece también la Universidad de Santiago de Compostela, con 11, en el noveno lugar del total iberoamericano.

En este conjunto de los diez máximos patentadores iberoamericanos en nanotecnología aparecen sólo dos que no son españoles. Se trata de dos instituciones brasileñas no pertenecientes al sector empresarial: la Universidad de Minas Gerais y la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), ambas con doce patentes acumuladas entre 2000 y 2007.

A nivel regional, la presencia del sector privado (considerando en él a las empresas y a los titulares que lo hacen en nombre propio y no de organizaciones o firmas) entre los titulares de patentes nanotecnológicas se ubica en el 59 % del total (Figura 5.51). Muy cerca de ese valor se encuentran los países más fuertes de la región en cuanto al patentamiento en este área: España, con la participación de privados en la titularidad del 58 % de sus registros, y Brasil, con el 60 %.

Figura 5.51: Participación del sector privado en la titularidad



En el caso de Brasil, además de las instituciones mencionadas, aparecen varias universidades, entre las que se destaca la Universidad de Campinas, que acumuló cuatro patentes en nanotecnología, gestionadas mediante el convenio PCT, entre 2000 y 2007. Por otra parte, la Fundação Oswaldo Cruz registró una cantidad similar, mientras que EMBRAPA cuenta con tres.

Entre las empresas, se destaca la farmacéutica Biolab Sanus, con 4 registros, es decir la tercera parte de las acumuladas por la Universidad de Minas Gerais y la FAPESP en el mismo período.

Entre los países con un número menor de patentes acumuladas entre 2000 y 2007, las tendencias son divergentes. Portugal, el tercer país en cantidad de títulos nanotecnológicos, tiene participación del sector privado en el 67 % de sus títulos. El primer lugar entre los titulares de patentes nanotecnológicas en Portugal lo comparten una institución académica y una empresa. Se trata de la Universidad do Minho y de la empresa Portela&Cía, ambas con cuatro patentes acumuladas.

Mientras que con dos patentes registradas en el mismo período aparecen también las universidades de Porto y Coimbra, con presencia entre las instituciones portuguesas más productivas en publicaciones científicas, el patentamiento está liderado por la de Minho que no tiene una presencia equivalente en las bases bibliográficas consultadas. El caso opuesto es el de la Universidad Aveiro, que lidera en publicaciones pero no registra títulos de propiedad industrial del convenio PCT entre 2000 y 2007.

Por otro lado en México sólo en el 50 % de las patentes WIPO publicadas en el período estudiado tiene presencia del sector privado. Se da en este caso una gran presencia de títulos registrados bajo la titularidad de personas físicas, una particularidad que se observa también en buena medida en otros países iberoamericanos con volúmenes de patentamiento aún menores.

Entre las instituciones del sector público, con patentes en nanotecnología publicadas en la WIPO en el período analizado, se destaca el Instituto Mexicano del Petróleo, con cuatro títulos acumulados. El sector académico está representado por dos universidades: la UNAM, con dos patentes, y la Autónoma Metropolitana, con una.

El caso que presenta una divergencia mayor presencia del privados es el de Argentina, dónde el 92 % de las patentes tiene entre sus titulares a empresas o personas físicas. Es importante notar que se trata de un número relativamente escaso de patentes, con un total de doce documentos acumulados en la WIPO entre 2000 y 2007.

La empresa que se destaca es Immunotech, con cuatro patentes obtenidas en aspectos de la nanotecnología relacionados con la biotecnología. Aparece también la empresa Goldgene, con dos títulos, y, con una patente cada una, la semillera Nidera y la farmacéutica LKM. El sector público argentino sólo tiene presencia en una patente nanotecnológica, cuya titularidad es compartida entre el Consejo Nacional de Investigaciones Científica y Técnicas (CONICET) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

El caso argentino, pero también la escasa presencia universitaria en México, puede dar cuenta de una diferencia sustancial en los incentivos a patentar presentes en las instituciones académicas de los países de menor desarrollo relativo de Iberoamérica. Esto contrasta fuertemente con la dominante presencia del CSIC en España y de las universidades y fundaciones de promoción en Brasil.

Otro fenómeno que puede guardar relación es la cantidad de documentos registrados bajo la titularidad de personas físicas en los países de menor desarrollo relativo, en los que la presencia del sector académico es menor. Dado que se trata de un área de punta en materia de I+D y de una fuente muy selectiva, es difícil pensar que se trata de inventores sin ninguna relación con el sistema de

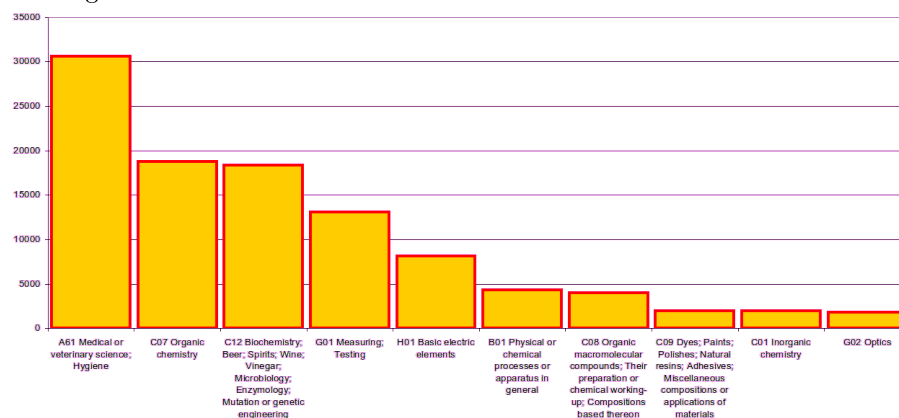
ciencia, tecnología e innovación. Es posible que la falta de incentivos y facilidades para el patentamiento en las instituciones académicas haga que el registro de las invenciones se termine canalizando por fuera de ellas.

5.4.3. Los campos de aplicación de la nanotecnología

Para dar cuenta de los campos de aplicación tecnológica de las patentes recopiladas en este estudio se puede recurrir a los códigos internacionales de clasificación de patentes (IPC), que en su edición actual distribuyen las patentes en uno, o al mismo tiempo en varios de los 70.000 campos tecnológicos que define. La asignación del código IPC es dada por el examinador de la patente, es decir por el técnico especialista asignado por la oficina de propiedad intelectual que otorga la patente, de acuerdo con el campo de aplicación de la invención. Dado el avance constante de la tecnología y la aparición de campos emergentes, el IPC es constantemente revisado, por lo que regularmente se publican nuevas ediciones. La actual, octava edición, entró en vigencia en enero de 2006.

Esta clasificación es de carácter jerárquico y tiene una profundidad de hasta seis dígitos, por lo que la información puede manejarse a niveles de desagregación variables. En la Figura 5.52 se presentan los principales códigos IPC a tres dígitos del total de patentes en nanotecnología acumulado para 2000-2007 en la base del convenio PCT. Dado que una misma patente puede poseer varios códigos IPC, muchas veces estos códigos se superponen; este análisis se realiza sobre la base de la consideración de todos los códigos IPC en los que cada una de las patentes consideradas ha sido técnicamente clasificada.

Figura 5.52: Principales códigos IPC (3 dígitos) en total de patentes en nanotecnología

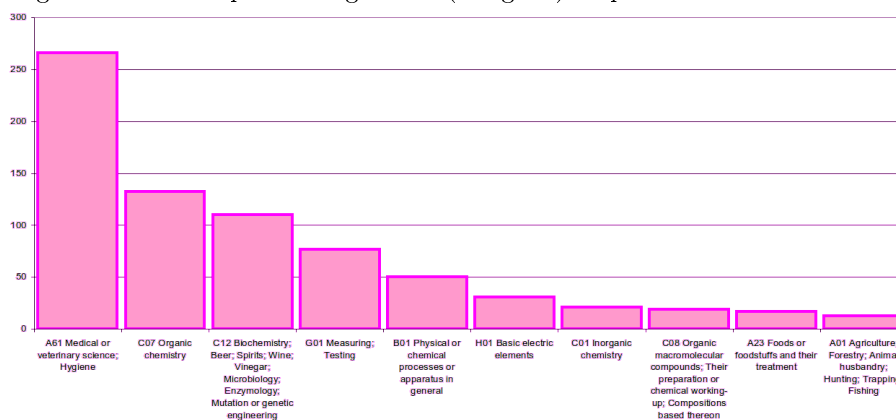


Como se puede observar, el principal campo de aplicación de las patentes de invención en nanotecnología es Ciencias médicas y veterinaria (A61, con 30.633 registros), seguido por Química orgánica (C07, con 18.751 patentes), Bioquímica (C12, con 18.368 registros), Medición y testeo (G01, con 13.093) y Elementos eléctricos básicos (H01, con 8.111 patentes). Continúan el listado de los campos de aplicación más frecuentes entre las patentes en nanotecnología otorgadas en

los últimos años, aunque con valores muy inferiores a los recién referidos (la mitad o menos que los observados en el campo que ocupa el quinto lugar), las siguientes cinco áreas: Procesos físicos o químicos (B01), Componentes orgánicos macromoleculares (C08), Tintes (C09), Química inorgánica (C01) y Óptica (G02). Teniendo en cuenta que las patentes bajo análisis pueden estar clasificadas en uno o varios de estos campos de aplicación, más adelante se expondrán las redes temáticas conformadas por tales interrelaciones.

En Iberoamérica y considerando el volumen acumulado para el período, como muestra la Figura 5.53 los cuatro primeros campos de clasificación de las patentes en nanotecnología son los mismos que los observados para el total mundial. Esto es, Ciencias médicas y veterinarias (A61, con 266 registros), Química orgánica (C07, con 132), Bioquímica (C12, con 110), y Medición y testeo (G01, con 77). En el quinto lugar se ubica Procesos físicos o químicos (B01, con 50 patentes), que en el total mundial ocupaba el sexto puesto. Con 31 títulos o menos, completan el listado de los diez campos de aplicación más frecuentes en las patentes iberoamericanas en nanotecnología Elementos eléctricos básicos (H01, en el quinto lugar en el total mundial), Química inorgánica (C01, en el noveno lugar en el total mundial), Componentes orgánicos macromoleculares (C08, en el séptimo lugar en el total mundial) y, finalmente, dos campos de aplicación que en el conjunto total mundial aparecían por fuera de los diez principales IPCs a tres dígitos: Alimentos (A23) y Agricultura, bosques y ganadería (A01).

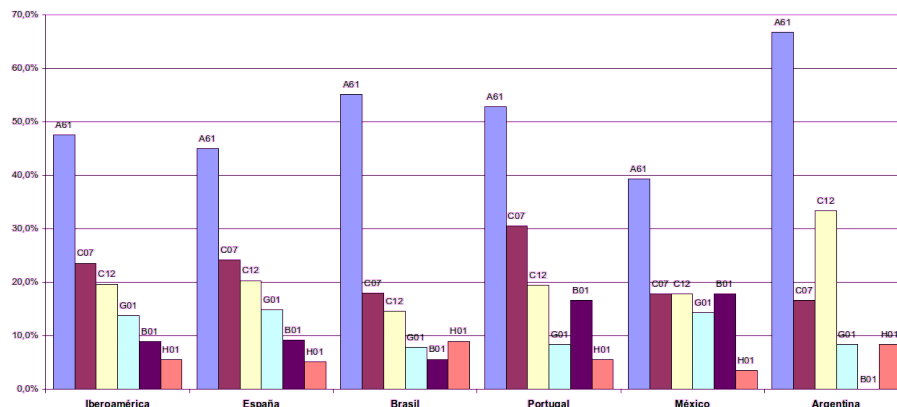
Figura 5.53: Principales códigos IPC (3 dígitos) en patentes iberoamericanas



En la Figura 5.54 se presenta la composición comparada de campos de aplicación a tres dígitos de Iberoamérica y sus principales países en materia de desarrollo en nanotecnología durante 2000-2007. A este nivel de desagregación se observa una especialización tecnológica bastante homogénea en cuanto a los campos de clasificación implicados (con la sola excepción de Argentina, que no cuenta con patentes clasificadas con el código B01, Procesos físicos o químicos). Cabe destacar de todas maneras algunos matices en cuanto al peso que tienen los principales campos de aplicación en cada país.

El código de clasificación A61 (Ciencias médicas y veterinarias) concentra más de la mitad de las patentes de invención en nanotecnología de Argentina (66,7 %), Brasil (55,1 %) y Portugal (52,8 %). El campo C07 (Química orgánica) reúne

Figura 5.54: Especialización tecnológica - IPC (3 dígitos)



numerosas patentes de invención en Portugal (30,6 %), España (24,1 %) e Iberoamérica como conjunto (23,6 %). La mayor especialización temática en el campo de aplicación C12 (Bioquímica) se observa en Argentina (33,3 %), aunque en la mayoría de los demás casos analizados (con excepción de Brasil) se ubica en torno al 20 % de participación en las patentes en nanotecnología. El campo G01 (Medición y testeo) tiene una presencia significativa en España (14,9 %) y México (14,3 %), mientras que en el resto de los casos, sólo el código IPC B01 (Procesos físicos o químicos) supera el 10 % en México (17,9 %) y Portugal (16,7 %).

En la Figura 5.55 se pueden observar los principales campos de aplicación a cuatro dígitos del total de patentes en nanotecnología correspondientes al período 2000-2007. Se destacan especialmente las temáticas Preparaciones para propósitos médicos, dentales o higiénicos (A61K, con 24.732 registros), Propagación, preservación o mantenimiento de microorganismos, mutación o ingeniería genética (C12N, con 12.359 títulos), Investigación o análisis de materiales incluyendo determinaciones de sus propiedades químicas o físicas (G01N, con 12.198), Péptidos (C07K, con 11.360 registros), Actividad terapéutica de compuestos químicos o preparaciones médicas (A61P, con 8.986) y Procesos de medición o testeo que incluyen enzimas o microorganismos (C12Q, con 8597). El listado de los diez primeros IPCs a cuatro dígitos se completa con los campos Dispositivos semiconductores (H01L, con 5.150 patentes), Compuestos heterocíclicos (C07D, con 5.088), Métodos o aparatos para esterilizar materiales (A61L, con 2.788) y, por último, Procesos químicos o físicos y sus aparatos (B01J, con 2.383 registros de propiedad industrial).

En Iberoamérica como conjunto y durante el mismo período, se observa una especialización temática en la clasificación de IPCs a 4 dígitos muy similar a la registrada para el total mundial. De hecho nueve de los diez primeros campos de aplicación presentes en sus patentes en nanotecnología figuran entre los diez primeros del total mundial, aunque con algunas diferencias de posición.

La temática más importante en la región iberoamericana es, al igual que para el conjunto mundial, Preparaciones para propósitos médicos, dentales o higiénicos (A61K, con 238 registros). Le siguen, en orden de importancia, Actividad

Figura 5.55: Principales códigos IPC (4 dígitos) en total de patentes en nanotecnología

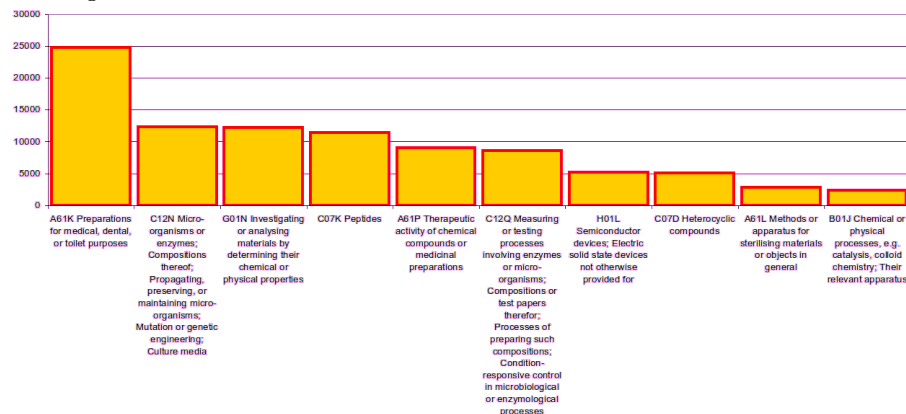
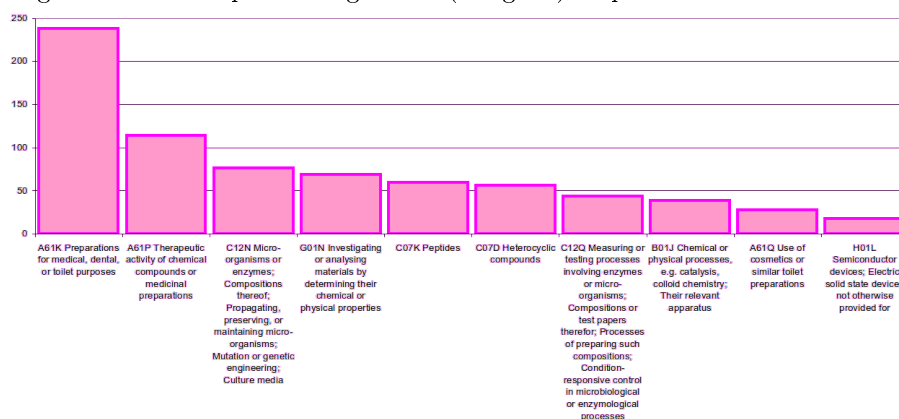


Figura 5.56: Principales códigos IPC (4 dígitos) en patentes iberoamericanas



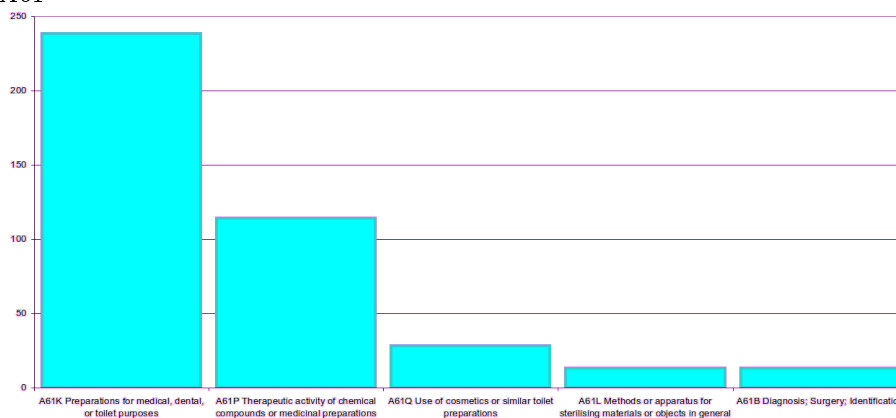
terapéutica de compuestos químicos o preparaciones médicas (A61P, con 114, en el quinto lugar en el ranking mundial), Propagación, preservación o mantenimiento de microorganismos, mutación o ingeniería genética (C12N, con 76 títulos, ubicado en el segundo lugar en el total mundial), Investigación o análisis de materiales incluyendo determinaciones de sus propiedades químicas o físicas (G01N, con 69, tercero en el ranking mundial), Péptidos (C07K, con 60 registros, cuarto en el ranking mundial), Compuestos heterocíclicos (C07D, con 56, octavo en el total mundial), Procesos de medición o testeo que incluyen enzimas o microorganismos (C12Q, con 44, sexto en el ranking mundial), Procesos químicos o físicos y sus aparatos (B01J, con 39 registros, décimo en el total mundial), Uso de cosméticos o preparaciones similares para higiene personal (A61Q, con 28 títulos, el único de los principales campos de aplicación iberoamericanas no presentes entre los diez primeros del ranking mundial) y Dispositivos semiconductores (H01L, con apenas 18 patentes, séptimo en el total mundial).

Resulta interesante analizar la composición de los cinco primeros campos de

aplicación de las patentes en nanotecnología recuperados para 2000-2007 a tres dígitos, analizando el detalle de los campos de aplicación a cuatro dígitos que ellos contienen.

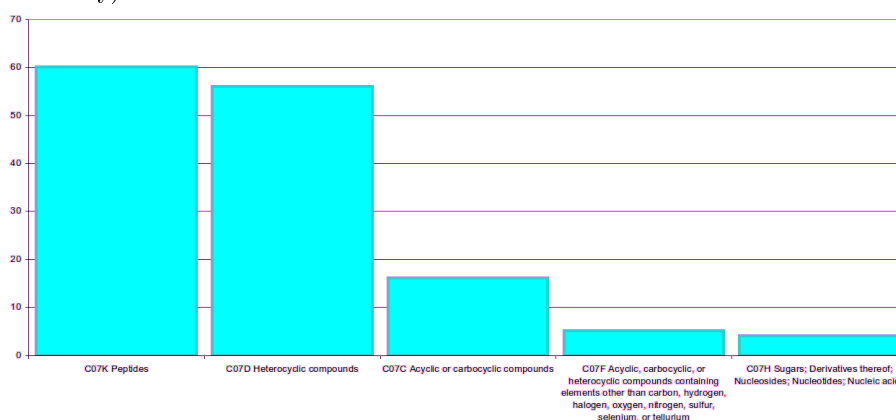
La figura 5.57 muestra que el campo A61 (Ciencias médicas y veterinaria) se compone fundamentalmente, según los códigos IPC a cuatro dígitos, de Preparaciones para propósitos médicos, dentales o higiénicos (A61K, que ocupa el primer lugar en el listado general de IPCs a cuatro dígitos de la región) y Actividad terapéutica de compuestos químicos o preparaciones médicas (A61P, segundo lugar en el ranking iberoamericano).

Figura 5.57: Principales códigos IPC (4 dígitos) de las patentes del código IPC A61



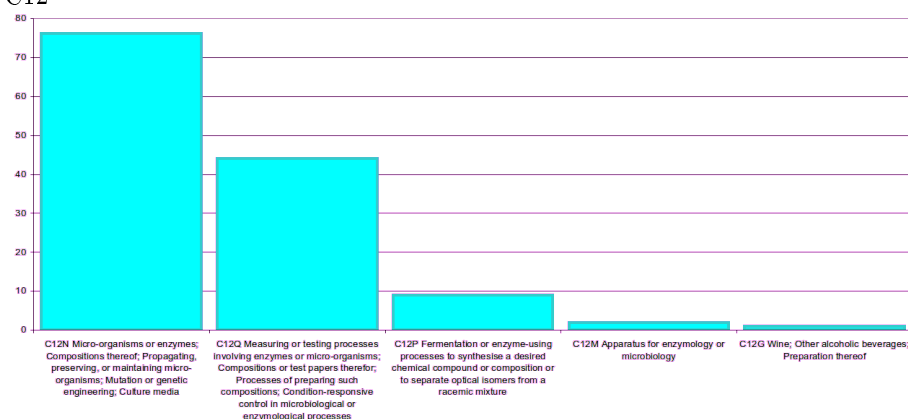
La Figura 5.58 permite observar la concentración de campos de aplicación a cuatro dígitos incluidos en Química orgánica (C07): se trata casi únicamente de Péptidos (C07K, que ocupa el quinto lugar en el ranking iberoamericano) y de Compuestos heterocíclicos (C07D, sexto en el mismo ranking), seguidos lejanamente por otras temáticas.

Figura 5.58: Principales códigos IPC (4 dígitos) del código IPC C07 (Organic chemistry)



La Figura 5.59 presenta los campos de aplicación a cuatro dígitos que se destacan en Bioquímica (C12). Ellos son fundamentalmente Propagación, preservación o mantenimiento de microorganismos, mutación o ingeniería genética (C12N, que ocupa el tercer lugar en el total regional) y Procesos de medición o testeo que incluyen enzimas o microorganismos (C12Q, en el séptimo lugar en el ranking iberoamericano).

Figura 5.59: Principales códigos IPC (4 dígitos) de las patentes del código IPC C12



En la Figura 5.60 se observan los principales IPCs a cuatro dígitos contenidos en Medición y testeo (G01). La concentración es casi total en un campo de aplicación: Investigación o análisis de materiales incluyendo determinaciones de sus propiedades químicas o físicas (G01N), cuarto en el conjunto de las patentes en nanotecnología de la región).

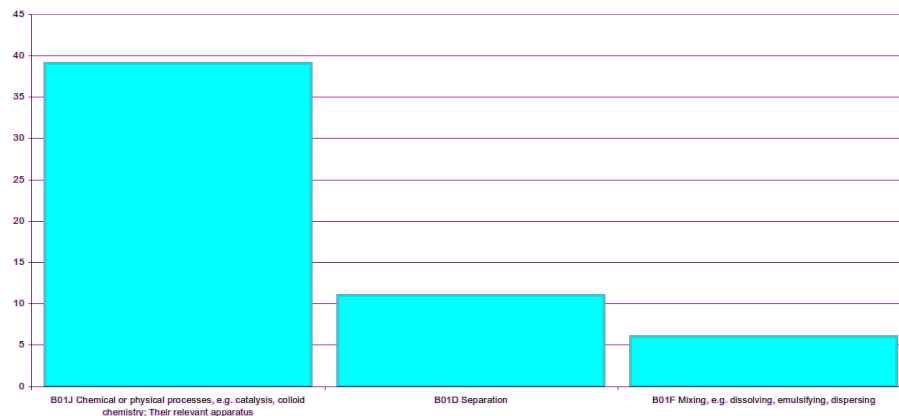
Figura 5.60: Principales códigos IPC (4 dígitos) de las patentes del código IPC G01



La Figura 5.61 presenta los campos de aplicación a cuatro dígitos correspondientes a Procesos físicos o químicos (B01). Se trata, básicamente, del campo Procesos químicos o físicos y sus aparatos (B01J, octavo en el ranking iberoame-

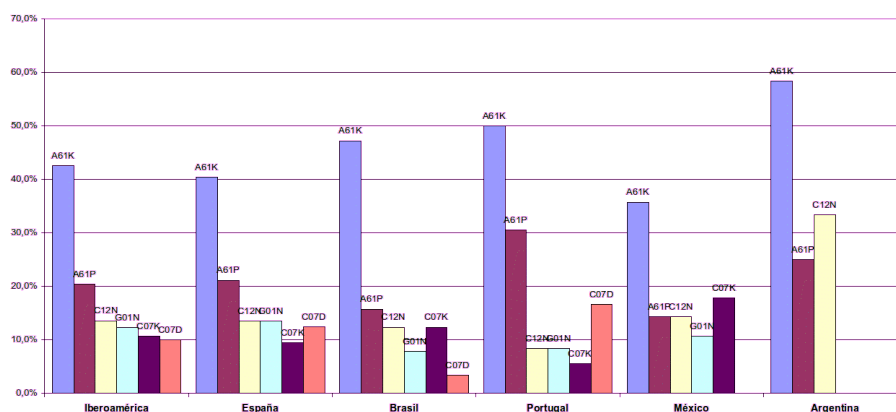
ricano) y, aunque en una menor proporción, de las temáticas Separación (B01D) y Mezclas (B01F).

Figura 5.61: Principales códigos IPC (4 dígitos) de las patentes del código IPC B01



La Figura 5.62 presenta la composición comparada de campos de clasificación a cuatro dígitos de Iberoamérica y sus cinco principales países en patentamiento en nanotecnología durante 2000-2007. Al igual que con los IPCs-3, a este nivel de desagregación se observa una importante homogeneidad en la especialización tecnológica en cuanto a los principales campos de aplicación implicados (con excepción de México, que no cuenta con patentes clasificadas con el código C07K, Péptidos, y Argentina, que no tiene patentes pertenecientes a dicho campo de aplicación ni al código G01N, Investigación o análisis de materiales incluyendo determinaciones de sus propiedades químicas o físicas). Las diferencias aparecen fundamentalmente en el peso que tiene en cada uno de los casos las distintas temáticas.

Figura 5.62: Especialización tecnológica a partir de códigos IPC (4 dígitos)



El campo de aplicación A61K (Preparaciones para propósitos médicos, dentales o higiénicos) concentra más de la mitad de las patentes argentinas en nanotecnología.

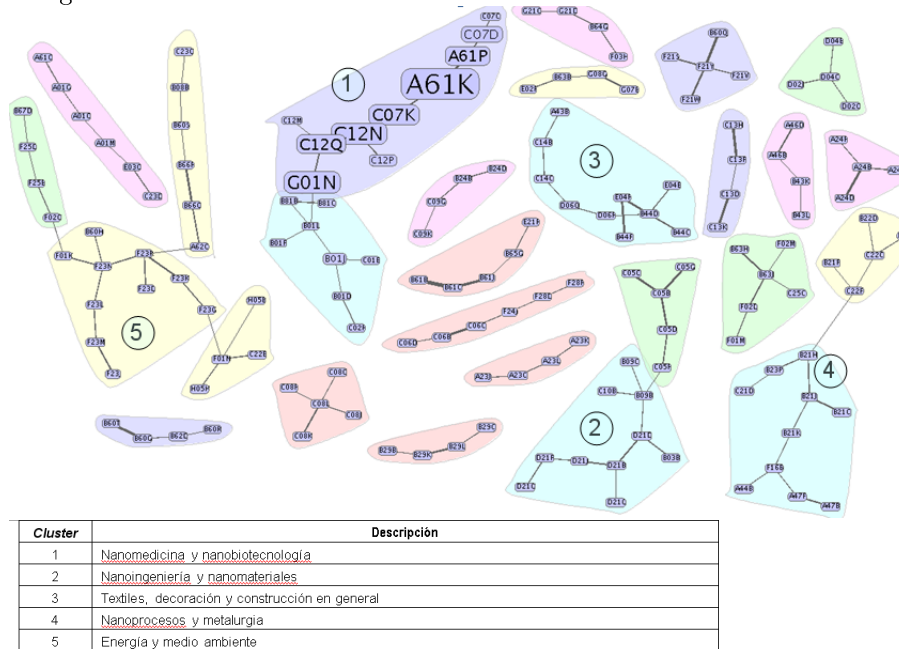
logía (58,37 %) y más de la tercera parte de las patentes de este campo del total iberoamericano (42,5 %), Portugal (50 %), Brasil (47,2 %), España (40,4 %) y México (35,7 %). El campo A61P (Actividad terapéutica de compuestos químicos o preparaciones médicas) reúne numerosas patentes de invención en Portugal (30,6 %), Argentina (25 %), España (21,1 %) e Iberoamérica como conjunto (20,4 %). La mayor especialización temática en el campo C12N (Propagación, preservación o mantenimiento de microorganismos, mutación o ingeniería genética) se observa en Argentina (33,3 %), mientras que en todos los demás casos considerados este campo no supera el 15 %. El campo de aplicación G01N (Investigación o análisis de materiales incluyendo determinaciones de sus propiedades químicas o físicas) tiene una presencia relativamente significativa en España (13,6 %). El código C07K (Péptidos) supera el 10 % en México (17,9 %), Brasil (12,4 %) e Iberoamérica como conjunto (10,7 %). Finalmente, el campo C07D (Compuestos heterocíclicos) aparece como una temática tecnológica de cierta importancia en Portugal (16,7 %) y España (12,5 %).

Una perspectiva complementaria a la descripción de los ámbitos de clasificación presentes en las patentes del campo de la nanotecnología, integrado por diferentes disciplinas que se relacionan entre sí, puede ofrecerla la proporcionada por las herramientas de análisis de conglomerados. Este tipo de herramientas pueden ofrecer un panorama detallado de la trama básica de la especialización tecnológica mundial e iberoamericana presente en el corpus de las patentes en nanotecnología, en tanto permite clasificarlas en grupos o conglomerados (clusters según la denominación en inglés). Una fuente de gran calidad y pertinencia para ello son justamente los códigos IPC a cuatro dígitos. Los agrupamientos de patentes emergentes en función de la co-ocurrencia de dos o más códigos IPC (a cuatro dígitos) en las patentes en nanotecnología existentes a nivel mundial e iberoamericano en la WIPO para el período 2000-2007, pueden observarse en las figuras 5.63 y 5.64 respectivamente. El volumen de los nodos representa la cantidad de patentes asignadas a cada código IPC y la intensidad de los lazos entre ellos da cuenta de las veces en que esos códigos co-ocurren en las patentes recuperadas. Al igual que en el caso de algunas redes de publicaciones ya presentadas, en este caso también se han podado los vínculos con el algoritmo MST, dejando sólo la estructura básica de las agrupaciones.

Los clusters de campos de aplicación emergentes en las patentes del total mundial son 26 y se encuentran fuertemente atomizados. De ellos serán analizados los cinco principales en cantidad de nodos interrelacionados, más los seis pequeños conglomerados con los que se articulan directamente a través de algún código.

El primero de los clusters observados es el de Nanomedicina y nanobiotecnología. Este grupo de patentes es el que queda conformado a partir de las interrelaciones entre los códigos IPC (en orden decreciente de número de patentes contabilizadas para cada uno de ellos) A61K (Preparaciones para propósitos médicos, dentales o higiénicos), C12N (Propagación, preservación o mantenimiento de microorganismos, mutación o ingeniería genética), G01N (Investigación o análisis de materiales incluyendo determinaciones de sus propiedades químicas o físicas), C07K (Péptidos), A61P (Actividad terapéutica de compuestos químicos o preparaciones médicas), C12Q (Procesos de medición o testeo que incluyen enzimas o microorganismos), C07D (Compuestos heterocíclicos), C12P (Procesos de fermentación o utilización de enzimas para sintetizar un compuesto

Figura 5.63: Mapa de códigos IPC (4 dígitos) en total de patentes en nanotecnología



o una composición deseada o separar isómeros ópticos a partir de una mezcla racémica), C07C (Compuestos acíclicos o carbocíclicos) y C12M (Aparatos para enzimología o microbiología). A este conglomerado, y a través del campo de aplicación G01N, se articula otro más pequeño centrado en temáticas específicas de tecnología microestructural y procesos físicos o químicos.

Un segundo conglomerado de campos de aplicación de las patentes mundiales en nanotecnología es el de Nanoingeniería y nanomateriales, compuesto por los IPC B29C (Conformación de sustancias en un estado plástico en general), D21C (Producción de celulosa mediante la eliminación de sustancias sin celulosa de materiales que contienen celulosa), B09B (Eliminación de los desechos sólidos), D21F (Máquinas de fabricación de papel), B03B (Separación de materiales sólidos o líquidos utilizando tablas neumáticas), C10B (Destilación destructiva de materiales carbonosos), D21B (Materias primas fibrosas o su tratamiento mecánico), D21G (Calendarios), D21D (Tratamiento de materiales antes de pasar a la máquina de fabricación de papel) y D21J (Cartón; Fabricación de artículos de suspensiones de fibras celulósicas o papel maché). A este grupo de patentes se vincula, a través del código B09B, otro referido a la fabricación de diferentes tipos de abonos (orgánicos, inorgánicos, fosfatados, nitrogenados o mezclas).

Un tercer cluster de campos de aplicación de las patentes mundiales en nanotecnología es el de Textiles, decoración y construcción en general, emergente de las articulaciones entre los IPC B44C (Producción de efectos decorativos; Mosaicos), D06F (Blanqueo, secado, planchado, prensado o plegado de artículos textiles), B44F (Diseños o fotos especiales), B44D (Pintura o dibujo artístico; preservación de pinturas), E04F (Trabajo de terminación en edificios), A43B

(Calzado; Partes de calzado), E04H (Edificios o estructuras para fines particulares), C14C (Tratamiento químico de pieles o cueros), D06Q (Textiles decorativos) y C14B (Tratamiento mecánico o transformación de pieles o cueros en general; Máquinas de esquila).

Un cuarto conglomerado de patentes en nanotecnología es el de Nanoprosesos y metalurgia, compuesto por los campos de aplicación C21D (Modificación de la estructura física de metales ferrosos), B21C (Fabricación de hojas de metal, alambres, varillas, tubos o perfiles, excepto en material laminado), B23P (Otros trabajos de metal), F16B (Dispositivos de sujeción o de elementos de construcción o piezas de maquinaria juntos), A44B (Botones, alfileres, hebillas y cremalleras), B21J (Forja; Martilleo; Presión; Remachadoras; Forja hornos), A47B (Cuadros; Escritorios; Mobiliario de oficina; Gabinetes; Cajones; Detalles generales de mobiliario), A47F (Muebles o accesorios especiales para tiendas, almacenes, bares, restaurantes o similares), B21K (Forjado o prensado de productos, por ejemplo herraduras, remaches, tuercas o ruedas) y B21H (Fabricación de objetos metálicos particulares por laminación). A través del campo B21H, aparece unido a este conglomerado otro más pequeño sobre cambios de la estructura física de metales no ferrosos, aleaciones, fundición de metales y trabajo de polvo metálico.

Finalmente, un quinto cluster de campos de aplicación de las patentes del total mundial en nanotecnología es el dedicado fundamentalmente a Energía y medio ambiente, conformado por los campos de aplicación B06B (Generación o transmisión de vibraciones mecánicas en general), F23C (Aparatos de combustión que utilizan combustible fluido), F23K (Alimentación de combustible a los aparatos de combustión), F23L (Suministro de aire), F23R (Generación de productos de combustión de alta presión o de alta velocidad), F01K (Plantas de máquinas de vapor), F23J (Eliminación o tratamiento de productos o residuos de combustión), F23M (Detalles de construcción de cámaras de combustión) y F23N (Regulación o control de la combustión). A este cluster se articulan otros tres conglomerados más pequeños. El primero, conectado a través del campo F23C, se refiere fundamentalmente a máquinas y motores de gas, refinado de materiales y calefacción eléctrica. El segundo, vinculado a través del código F23R, alude a lucha contra incendios, grúas y elevadores, limpieza y reparación de vehículos, limpieza en general y recubrimiento de materiales metálicos. El tercero, articulado a través del campo F01K, contiene patentes sobre plantas de turbinas de gas, refrigeración y apertura o cierre de botellas o contenedores similares.

Los conglomerados de campos de aplicación emergentes en las patentes iberoamericanas en nanotecnología son 12 y sólo tres de ellos se encuentran desarticulados del entramado de temas de la región. En este caso se analizarán también los cinco principales en términos de la cantidad de nodos interrelacionados y patentes comprendidas en cada uno de ellos.

El principal cluster observado, al igual que en el total mundial aunque con algunos campos menos asociados a él, es el de Nanomedicina y nanobiotecnología, conformado (en orden decreciente de número de patentes contabilizadas) por los códigos IPC desagregados a cuatro dígitos A61K (Preparaciones para propósitos médicos, dentales o higiénicos), A61P (Actividad terapéutica de compuestos químicos o preparaciones médicas), C12N (Propagación, preservación o man-

tenimiento de microorganismos, mutación o ingeniería genética), C07K (Péptidos), C07D (Compuestos heterocíclicos), B01J (Procesos químicos o físicos y sus aparatos), A61Q (Uso de cosméticos o preparaciones similares para higiene personal), C07C (Compuestos acíclicos o carbocíclicos) y C10G (Craqueo de aceites de hidrocarburos, producción de mezclas de hidrocarburos líquidos). Los campos de aplicación B01J, A61Q y C10G no estaban presentes en este conglomerado temático en el total mundial de patentes en nanotecnología, siendo específicos de la región iberoamericana.

Un tercer cluster que puede identificarse es el de Nanoprocesos y nanoingeniería aplicados a la medicina y a la biotecnología, integrado por los campos de aplicación A61B (Diagnóstico; Cirugía), B22F (Trabajo con polvo metálico), B82B (Nanoestructuras), D01D (Métodos mecánicos o aparatos para la fabricación de filamentos artificiales, hilos, fibras, cerdas o cintas), B81C (Procesos o aparatos especialmente adaptados para la fabricación o el tratamiento de dispositivos

o sistemas microestructurales), A61N (Electroterapia; Magnetoterapia; Terapia de radiación; Terapia de ultrasonido), C01F (Compuestos de los metales berilio, magnesio, aluminio, calcio, estroncio, bario, radio, torio o de los metales de tierras raras), C10M (Composiciones lubricantes; Uso de sustancias químicas solas o como ingredientes lubricantes en una composición lubricante), A61M (Dispositivos para introducir en el cuerpo), B81B (Dispositivos o sistemas microestructurales). Cabe señalar que a este conglomerado se articula, a través del código A61B, otro más pequeño y muy relacionado con la temática, compuesto por los campos A61L (Métodos o aparatos para esterilizar materiales), A61F (Filtros implantables en los vasos sanguíneos; Prótesis; Dispositivos ortopédicos, de enfermería o anticonceptivos), C23C (Recubrimiento de material metálico) y A61C (Odontología; Higiene bucal).

Un cuarto conglomerado emergente en Iberoamérica es el de Nanocompuestos aplicados a los alimentos y la cosmética. Está conformado por los campos de aplicación A23L (Alimentos, productos alimenticios o bebidas no alcohólicas; Su preparación o tratamiento; Preservación de alimentos o productos alimenticios en general), B05B (Aparatos de pulverización), C11D (Composiciones de detergente composiciones; Uso de sustancias como únicos detergentes; Jabón o fabricación de jabón; Jabones de resina; Recuperación de glicerol), B01F (Mezclas), A23P (Trabajo con productos alimenticios), C07B (Métodos generales de la química orgánica; Aparatos a tal efecto), A23D (Aceites comestibles o grasas), A23C (Leche y productos lácteos; Sustitutos de la leche o el queso) y A23G (Chocolate; Productos alimenticios de confitería; Helado).

Finalmente, un quinto cluster es el Nanomateriales, integrado por las interrelaciones entre los campos de aplicación B01D (Separación), H01F (Imanes; Transformadores; Selección de materiales por sus propiedades magnéticas), C08L (Composiciones de compuestos macromoleculares), C08K (Uso de compuestos inorgánicos o sustancias inorgánicas macromoleculares como ingredientes compuestos), C08J (Procesos generales de composición de compuestos orgánicos macromoleculares), C08G (Compuestos macromoleculares obtenidos de otra forma), B03C (Separación magnética o electrostática de materiales sólidos a partir de materiales sólidos o líquidos; Separación de alto voltaje de campos eléctricos), C25D (Esmaltado de metales o aplicación de una capa vítrea a ellos) y B65D (Contenedores para el almacenamiento o el transporte de artículos o materiales).

5.5. Algunas interpretaciones a partir del uso integrado de indicadores atributivos y relacionales en el campo de la nanotecnología

Como en muchos otros aspectos de la ciencia y la tecnología, pero también de la economía y la sociedad, el avance de la nanotecnología en Iberoamérica es de un desarrollo desigual. Existe sin embargo una cierta cantidad de investigadores, nucleados en instituciones prestigiosas, cuya actividad se traduce en un volumen cada vez mayor de publicaciones.

Aunque se trata de una cantidad relativamente pequeña, la participación de la comunidad iberoamericana en el total de la producción sobre nanotecnología en

el SCI ha crecido del 2,8 % en 2000 al 4,0 % en 2007. Ese crecimiento lleva la presencia regional en ese tema por encima de su presencia en el total del SCI, que se sitúa en el 3,3 %.

España y Brasil son los pioneros de la región y actualmente los líderes de Iberoamérica en materia de producción científica y desarrollo tecnológico en nanotecnología, seguidos por México, Portugal y Argentina. La actividad en los otros países iberoamericanos es, en comparación, mucho menos significativa, aunque se evidencia un interés creciente en la nanotecnología. La mayor parte de los países presentan en mayor o menor medida grupos científicos involucrados en la investigación en este campo, lo cual se traduce, entre otros aspectos, en la conformación de redes regionales de conocimiento y la producción científica en colaboración.

Es importante destacar también que se trata de un terreno de investigación en el que las capacidades especializadas y la disponibilidad de equipamiento son críticas para su desarrollo. En ese contexto, y dado el tamaño relativamente pequeño de la comunidad científica y de los recursos financieros de cada uno de los países iberoamericanos por separado, sólo una intensa colaboración regional puede brindar la masa crítica necesaria para darle a la I+D en nanotecnología la sustentabilidad necesaria.

En ese sentido, el espacio iberoamericano del conocimiento se está demostrando cada vez más fructífero. Más allá del incremento en volumen de la producción, los países de la región se encuentran cada vez más densamente conectados entre sí, como se pudo ver en el análisis de redes a partir de la firma conjunta de artículos científicos. Asimismo, la colaboración iberoamericana es de mayor importancia para los países de desarrollo medio de la región, que han podido crecer en producción científica, en buena medida, de la mano de la colaboración con los países de mayor desarrollo relativo.

La consolidación de las instituciones de investigación en el campo de la nanotecnología, y su mayor asociación en redes de colaboración, es muy importante también para favorecer los procesos de transferencia del conocimiento hacia las instituciones del sector productivo. Como ya se señaló, en el campo de la nanotecnología el paso de los resultados de la investigación básica a la aplicación industrial es extremadamente rápido. La fuerte presencia observada a nivel mundial de prestigiosas instituciones académicas entre los titulares de patentes da muestras de ello.

Sin embargo, la vinculación de la investigación que se realiza en este campo en la región iberoamericana con su aplicación industrial es todavía escasa. Si bien se encuentra en rápido aumento en los países de la península ibérica, en la práctica resulta relativa la relevancia industrial de las investigaciones científicas realizadas y son relativamente pocas las patentes de invención en la mayoría de los países iberoamericanos.

Esta escasa dinámica del patentamiento es un tema que afecta en general a los países de la región y del que la nanotecnología en particular no escapa. En todos los campos del conocimiento, la dinámica de producción tecnológica de los países iberoamericanos, medida a través de las patentes, está muy lejos de la de los países más industrializados (mucho más lejos que en la producción científica medida en artículos publicados en revistas internacionales). La única

excepción en Iberoamérica es España, cuyos patrones en el registro de patentes están mucho más cerca de la media europea que del promedio latinoamericano. Justamente, si comparamos a España con Brasil (países que tienen un volumen económico similar) vemos que en nanotecnología ha registrado entre 2000 y 2007 cuatro veces más patentes del convenio PCT.

Sin duda muchos factores pueden intervenir en esta situación. Por un lado, la demanda del sector productivo por los desarrollos nanotecnológicos es mucho menor en los países latinoamericanos, situación relacionada con las estructuras económicas de estos países, que en líneas generales están más basadas en productos primarios que en bienes de mayor contenido tecnológico.

Cabe señalar que la desconexión con el sector productivo no proviene solamente de las empresas. Los investigadores, en la mayoría de los países iberoamericanos, en general parecen manejarse mejor en el mundo de las publicaciones científicas, con sus propias reglas de juego y recompensas, que en el de las patentes y la explotación comercial del conocimiento. Si bien, en opinión de los propios investigadores, los incentivos a patentar se están incrementando progresivamente, no resulta fácil cambiar la orientación tradicional de las investigaciones y convencer a la comunidad científica de no publicar -abandonando su forma tradicional de comunicarse- para poder defender la novedad de las invenciones que luego pueden llegar a presentarse como patentes.

El principal desafío que se presenta al espacio iberoamericano del conocimiento en este estratégico campo está centrado en potenciar fuertemente las conexiones entre academia y producción. Ello permitiría la ejecución de proyectos conjuntos de investigación y desarrollo dirigidos a la realización de productos que permitan consolidar las pequeñas y medianas empresas nacionales y su inserción en nuevos mercados regionales e internacionales, así como a la generación de microempresas de base tecnológica que aprovechen los nichos de oportunidad que ofrece la nanotecnología.

Capítulo 6

El entramado de relaciones de la I+D en biotecnología

A través del tiempo, el hombre ha desarrollado herramientas y sistemas que le permitieron sobrevivir y mejorar su calidad de vida. La generación de nuevos conocimientos y su posterior aplicación es una de las bases de su constante evolución. Los datos arqueológicos permiten confirmar que desde al menos 6.000 años atrás el hombre aprendió a hacer uso de organismos naturales o parte de los mismos con el fin de producir pan, cerveza, queso, vino o ciertos medicamentos. Actualmente, se entiende por biotecnología la producción de conocimientos, bienes o servicios, mediante el empleo de organismos vivos, parte de ellos o sus productos (OCDE, 2005). Por ello, la biotecnología puede considerarse un término genérico que engloba diversas etapas de desarrollo y aplicación.

En la segunda mitad del siglo XX se produjeron avances espectaculares en el conocimiento de los procesos elementales de la vida y de las bases moleculares que permitieron entender los mecanismos de la expresión de genes. Estos conocimientos junto con las tecnologías de modificación dirigida del ADN fueron rápidamente incorporadas a la generación de organismos genéticamente modificados con el fin de obtener productos de interés en medicina y agroalimentos.

Entrados ya en el siglo XXI, las biotecnologías y la ingeniería genética aparecen como tecnologías del futuro. No se trata de ciencias nuevas, pero hacen uso de todo tipo de estrategias y de diferentes métodos para analizar y utilizar el material hereditario de los seres vivos, así como sus diferentes funciones. De esta forma, la ciencia se enriquece con nuevos conocimientos fundamentales sobre los mecanismos de la vida. Estos conocimientos, al igual que en el caso de la nanotecnología pueden dar lugar a diferentes aplicaciones de gran trascendencia para la humanidad.

La revolución de las ciencias biológicas consiste en la rápida transferencia de los conocimientos básicos a procesos de interés social y comercial. La biotecnología hace uso de todo tipo de nuevas estrategias y metodologías para analizar y utilizar el material hereditario de los seres vivos y estudiar los diferentes mecanismos fundamentales de la vida a nivel molecular, empleando estos conocimientos con fines aplicados. Por otra parte, los conocimientos generados en estudios

de orientación biotecnológica permiten, a su vez, profundizar la comprensión de los procesos biológicos. Esta retroalimentación es necesaria para ampliar la aplicación de los conocimientos en diversos campos, permitiendo mejorar procesos, disminuir costos y desarrollar nuevos productos que representen una mejora en el bienestar social. A nivel económico, la utilización de la biotecnología en cualquier sector representa la optimización de procesos, disminución de escalas, mejoramiento de la calidad de los productos y un mejor control en el empleo de las materias primas y recursos disponibles. Teniendo en cuenta esto, el rol de la biotecnología en el contexto económico mundial es imprescindible para el crecimiento de economías desarrolladas o en desarrollo.

Para entender la implicancia de la biotecnología en nuestra sociedad actual no hace falta más que observar los diferentes elementos que componen nuestros hábitos cotidianos. Desde lavar la ropa con detergentes desarrollados a partir de enzimas específicas, preparar la comida con alimentos transgénicos o controlar una enfermedad con biofármacos desarrollados mediante técnicas de ADN recombinante y producidos en una empresa biotecnológica. Por otra parte, el impacto de la biotecnología moderna no se acota a los sectores agroalimentario y de salud, sino que su alcance es horizontal y sus aplicaciones llegan a sectores como el energético, el ambiental y el industrial.

Este breve y limitado repaso sobre estas nuevas tecnologías no debería finalizar sin la mención expresa de la bioelectrónica y de la neuroinformática que, en una primera aproximación, presentan a los ojos expertos un enorme potencial para la innovación científica y tecnológica. Los biosensores que se basan en el acoplamiento directo de un componente biológicamente activo, el emisor o transmisor de señal, y de un convertidor o transductor de la señal es un fenómeno de detección biológica. La selectividad del biosensor es la base de su uso futuro en biomedicina, en el ámbito del diagnóstico y control, del análisis del medio ambiente y de los alimentos, así como del control biológico de los procesos.

Tanto la neurobiología como la informática (tratamiento automático de la información) están registrando progresos muy importantes de cara al futuro. Los expertos sostienen que ambas ciencias actúan cada vez más en paralelo y si a ellas añadimos las nanotecnologías podemos afirmar que se van a producir aplicaciones comunes del mayor interés en el área de las biotecnologías y en las sucesivas interacciones con los sistemas fisiológicos del hombre.

No se puede dejar de lado, en esta presentación, el debate continuo sobre los riesgos y las necesarias normas y orientaciones en materia de seguridad. En todos los países que desarrollan actividades científicas en este ámbito, que pueden dar lugar al empleo de sistemas y tratamientos, existen ya (sobre todo en las investigaciones en biomedicina) normas de correcta manipulación y limitaciones jurídicas al empleo de algunas de estas nuevas tecnologías que están ya realmente armonizadas en el ámbito internacional. Un ejemplo claro corresponde al uso de semillas o plantas genéticamente modificadas, mientras que desde otro punto de vista, también existen ya normas específicas respecto a los alimentos y los productos que entran en el ámbito de la salud.

En ese sentido, es también importante considerar el concepto de bioeconomía, que desde este punto de vista aborda los cambios y desafíos globales del futuro y la forma en que pueden las ciencias biotecnológicas, en general, contribuir a

resolver los complejos problemas que ya están planteados hoy en día. La bioeconomía busca ofrecer aportes a los gobiernos, a las empresas, a los científicos y a la sociedad en general para la toma de decisiones en relación con las políticas innovadoras en campos como salud, alimentación, agricultura y cambio global, desde la perspectiva de las soluciones posibles ofrecidas desde las biotecnologías.

Existen numerosos factores de la bioeconomía que están orientados hacia las oportunidades de inversión. La bioeconomía emergente se muestra influida muy directamente por el apoyo a las inversiones en investigación pública y privada, las regulaciones, los derechos de propiedad industrial y la aceptación por la sociedad. Por otra parte, las normas permitirán afianzar la seguridad y la eficacia de los productos biotecnológicos influidos por las características de las investigaciones que sean viables comercialmente, teniendo en cuenta los costos de las mismas.

Es tan amplio el número de campos en que pueden utilizarse los conocimientos provenientes de la biotecnología que se ha tratado de definir diferentes tipos para la misma, usando códigos de colores: azul para la acuicultura, blanco para el medio ambiente, rojo para los desarrollos y aplicación en ciencias de la salud y verde para el área de la agricultura, alimentación, ganadería y forestal. Esto no significa en modo alguno que en el futuro no sean ampliados estos campos a otras áreas más definidas o particularizadas.

La biotecnología en su sentido más amplio es una actividad muy antigua, y sin embargo, sus posibilidades y su potencial están muy lejos de quedar agotados. Es complejo establecer un balance o predecir nuevos avances en el ámbito de la biotecnología y de la ingeniería genética, en particular. La investigación básica en biología (genética molecular, biología estructural, genómica estructural y funcional, proteómica, metabolómica, biología de sistemas, etc.) desplaza continuamente las fronteras del conocimiento y las predicciones sobre sus aplicaciones rápidamente son superadas por otras adicionales.

Se estima que dentro de 20 años los productos biotecnológicos alcancen el 5 % del producto interior bruto de los países desarrollados, si bien los beneficios sociales y económicos de la bioeconomía van a depender de forma muy importante de que se tomen adecuadas decisiones políticas y económicas por parte de los diferentes países. En ese mismo sentido, la biotecnología puede ofrecer soluciones tecnológicas adecuadas para muchos de los problemas existentes en el área de la salud o de los recursos necesarios para el desarrollo mundial. La aplicación de la biotecnología a la producción primaria, la salud y la industria pueden dar lugar al establecimiento de una bioeconomía que aporte resultados sociales y económicos de mayor nivel.¹

6.1. Delimitación de un área transversal

Como se ha señalado anteriormente, el monitoreo del estado del arte y de las tendencias en los distintos campos de la ciencia y la tecnología requiere de la

¹La información presentada en este apartado fue aportada por los expertos en biotecnología Dr Marcos Bilen (UNQ), Dr Victor Romanowski (IBBM UNLP-CONICET) y Dr Francisco Ferrándiz García (ASEBIO).

combinación de información cuantitativa y cualitativa. Si bien en este terreno la información sobre la inversión y los recursos humanos involucrados en la producción de conocimiento son de gran importancia, el seguimiento de los resultados de las actividades de I+D permite, con la asistencia de expertos en el tema estudiado, un nivel de detalle muy importante, permitiendo además analizar las tendencias detectadas, de cara a la toma de decisiones y la prospectiva.

La delimitación de un campo transversal como éste requiere contar con una definición clara del objeto a abordar. Desde hace varios años la OCDE ha formado un grupo de trabajo dedicado a las estadísticas en biotecnología. Uno de los principales resultados de ese emprendimiento es el documento *A Framework for Biotechnology Statistics* (OCDE, 2005). En ese documento se ofrecen definiciones muy precisas, que han orientado la mayor parte de los estudios métricos en este terreno, motivo por el cual ha sido utilizada para este trabajo.

La OCDE define a la biotecnología como:

“La aplicación de la ciencia y la tecnología a los organismos vivos, así como a partes, productos y modelos de los mismos, para alterar materiales vivos o no, con el fin de producir conocimientos, bienes o servicios” (OCDE, 2005).

Esta definición general, que abarca toda la denominada biotecnología moderna pero también incluye algunas actividades tradicionales y otras de frontera, a los fines de su medición debe ser interpretada especificando su alcance a la siguiente lista de técnicas biotecnológicas:

- *ADN (Ácido Desoxirribonucleico)/ARN (Ácido Ribonucleico)*: genómica, farmacogenética, sondas de genes, ingeniería genética, secuenciado/síntesis/amplificación de ADN/ARN, patrones de expresión genética y uso de tecnología antisentido, ARN de interferencia.
- *Proteínas y otras moléculas*: secuenciación/síntesis/ingeniería de proteínas y péptidos (incluyendo grandes moléculas con actividad hormonal), métodos de envió y liberación mejorados de grandes moléculas con acción farmacológica, proteómica, aislamiento y purificación de proteínas, identificación de receptores celulares y de señales celulares.
- *Cultivo e ingeniería celular y de tejidos*: cultivo de células/tejidos, ingeniería de tejidos (incluyendo ingeniería biomédica y estructuras para el armado de tejidos), hibridación y fusión celular, vacunas/estimulantes de inmunidad, manipulación de embriones.
- *Biotecnología de procesos*: fermentación utilizando biorreactores, bioprocesos, bio-lixiviación, bio-producción de pulpa de papel, bio-blanqueado, bio-desulfuración, biofiltración y biorremediación.
- *Genes y vectores de ADN/ARN*: terapia génica, vectores virales.
- *Bioinformática*: construcción de bases de datos de genomas, secuencias de proteínas, y modelización de complejos procesos biológicos, incluyendo biología de sistemas.
- *Nanobiotecnología*: aplicaciones de herramientas y procesos de nano y micro-fabricación a la construcción de dispositivos para estudiar biosistemas y aplicaciones en entrega de drogas, diagnósticos, etc.

Sin embargo, la definición del corpus de datos resulta una tarea compleja que, dada la transversalidad disciplinaria del campo analizado, sólo puede realizarse de manera efectiva en base a un conjunto de palabras clave representativas del objeto de estudio. Este conjunto de palabras, que tomaron como base las definiciones de la OCDE y otros trabajos bibliométricos disponibles, fueron refinadas con la asistencia de expertos en el tema. El listado resultante se incluye en el Anexo 3 de este informe. Ese conjunto de palabras clave fue aplicado sobre la base de datos Science Citation Index (SCI), en su versión Web of Science.

Al igual que las publicaciones, las patentes tienen dos usos diferentes, más allá de la protección a la propiedad intelectual que brindan. Por un lado, al tratarse de un cúmulo tan inmenso de información (actualmente hay más de cuarenta y siete millones de patentes en el mundo), la extracción de información puntual de los documentos sirve para favorecer la transferencia de tecnología y para facilitar la innovación en el sector productivo. Por otro lado, como se trató en profundidad anteriormente, la construcción de indicadores a partir de los documentos de patentes permite observar las tendencias en el desarrollo tecnológico de diferentes campos, aprovechando la información estructurada en esos documentos, permitiendo poner el foco en distintos aspectos que van desde los campos de aplicación hasta la distribución geográfica de los titulares e inventores. El hecho de que la estructura de este tipo de documentos esté normalizada a nivel mundial facilita mucho el procesamiento conjunto de datos provenientes de distintas oficinas nacionales de patentes.

Existen distintas fuentes de información utilizadas habitualmente para la construcción de indicadores de patentes. De acuerdo a los intereses de cada estudio pueden seleccionarse las oficinas de propiedad industrial de uno o varios países simultáneamente. En este caso, dado el impacto de las distintas regulaciones legales de la propiedad intelectual en biotecnología, se ha realizado un panorama inicial comparado las bases de patentes de los Estados Unidos (USPTO) y la Unión Europea (EPO), para luego profundizar el estudio sobre la base de datos de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO, según su sigla en inglés), que contiene los documentos registrados mediante el Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT, también según su sigla en inglés). Si bien la decisión de otorgar o no la patente recae en cada uno de los países, este mecanismo facilita enormemente la tramitación del registro en oficinas múltiples ya que las solicitudes que llegan mediante el convenio PCT no pueden ser rechazadas por cuestiones de forma en los países miembros. Asimismo, antes de ser enviada la solicitud a cada país se elabora una “búsqueda internacional” similar a la que realizan los examinadores de cada oficina. Este documento sirve tanto al titular para evaluar la patentabilidad de su invento como a los examinadores nacionales que ven disminuido su trabajo.

La solicitud y el mantenimiento de patentes internacionales registradas mediante el tratado PCT son costosos en términos económicos y de gestión, por lo que sólo suelen registrarse allí los inventos con un potencial económico o estratégico importante. La selección de esta fuente se basó en ese criterio de calidad, apuntando a relevar con precisión los avances tecnológicos de punta a nivel mundial. Por otra parte, con la utilización de una base de datos de estas características se facilita la comparabilidad internacional, que se vería seriamente dificultada en el caso de tomar alguna fuente nacional.

Para la selección del conjunto de patentes a analizar, existe creciente consenso internacional en partir de la definición referencial adoptada por la OCDE en biotecnología, y contenida en los documentos anteriormente referenciados (OCDE, 2005). Esta definición operativa está basada en la Clasificación Internacional de Patentes (IPC, según las siglas en inglés). Los 30 códigos IPC incluidos en ella, con sus respectivos nombres descriptivos, se presentan en el Anexo 4 de este informe.

La extracción de datos, abarcando la serie 2000-2008, se realizó mediante la plataforma Delphion de la empresa Thompson y los registros obtenidos fueron descargados y migrados a una base de datos local diseñada a tal efecto.

6.2. La investigación científica en biotecnología

Las bases de datos bibliográficas internacionales, tales como SCI, SCOPUS y Pascal, entre otras, dan cuenta de la producción científica medida a través de los artículos publicados en las revistas de mayor reconocimiento a nivel internacional y permiten evaluar aspectos relativos a la capacidad científica en campos determinados y su evolución en el tiempo. Estas fuentes de información son adecuadas para analizar disciplinas de la frontera de la ciencia, como lo es la biotecnología. El análisis presentado a continuación permite observar un panorama de los cambios en los volúmenes de producción, los patrones de colaboración internacional, las redes de interacción y los recortes disciplinarios predominantes en la región y los principales países del mundo, haciendo uso de distintos tipos de indicadores, con el objetivo de poner en práctica estas herramientas y comprobar su utilización para el análisis de distintos tipos de información científica y tecnológica.

6.2.1. Evolución de la producción científica

La búsqueda de publicaciones realizada permitió recuperar, a nivel mundial, un total de 428.255 documentos pertenecientes al campo de la investigación en biotecnología, disponibles en el Science Citation Index (SCI) entre los años 2000 y 2008. Estos documentos representan el 4,1 % de la producción científica total registrada en el SCI en ese mismo período. Como se puede observar en la Figura 6.1, el campo de la investigación en biotecnología presenta un crecimiento marcado y sostenido a nivel mundial, claramente evidente a partir de 2001. Mientras que en 2000 se registraron 35.936 documentos, en 2008 la producción ascendió a 62.472 documentos.

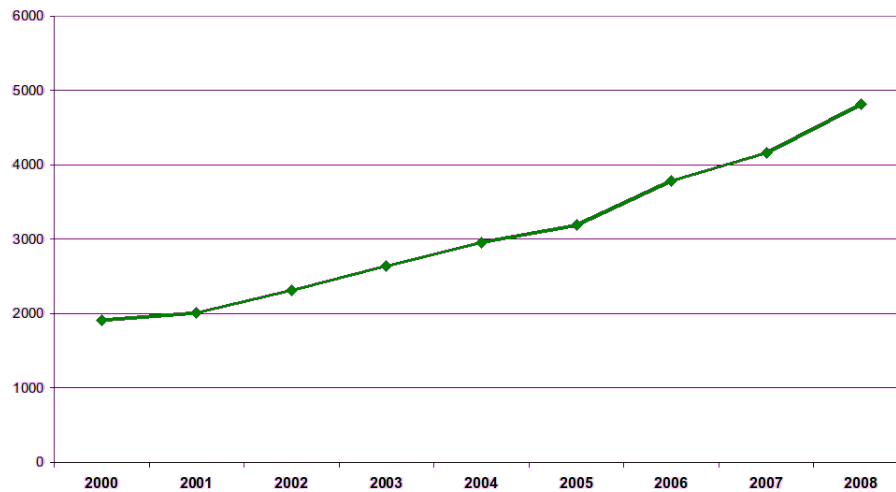
La presencia de Iberoamérica en el SCI fue, para el período 2000-2008, de 27.781 documentos. Se trata del 4,1 % del total de las publicaciones iberoamericanas registradas en esa base de datos internacional durante el período considerado, proporción idéntica a la observada para el total de la producción científica en biotecnología mundial. Sin embargo, como muestra la Figura 6.2, el crecimiento continuo fue, en términos relativos, mucho más fuerte en Iberoamérica que en el mundo: de 1.909 documentos registrados en 2000, pasó a 4.812 publicaciones en 2008, superando ampliamente el doble del valor inicial del período (un aumento

Figura 6.1: Total de publicaciones en biotecnología (2000-2008)



del 152 %, frente al crecimiento del 73 % registrado en la producción mundial en este campo).

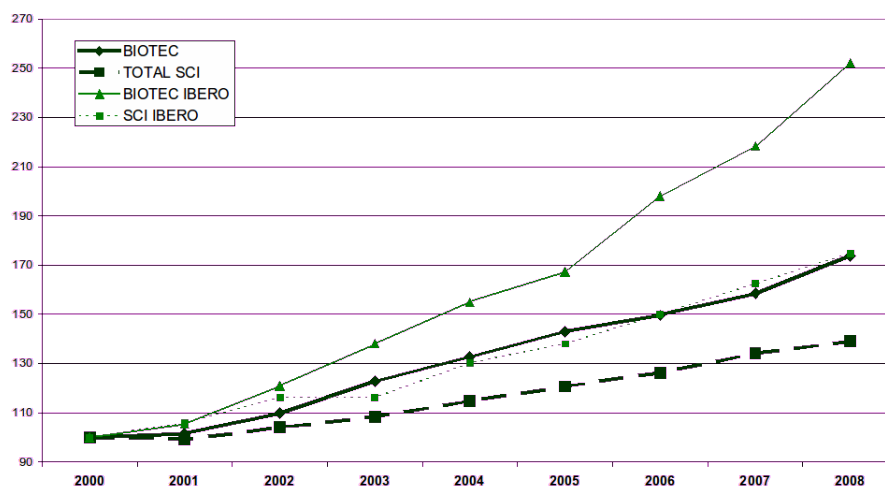
Figura 6.2: Total de publicaciones iberoamericanas en biotecnología (2000-2008)



La producción científica en biotecnología mundial creció, además, a un ritmo muy superior al presentado por el total de la producción científica registrada en SCI en el período 2000-2008 (Figura 6.3). Mientras que el total de la base creció un 40 %, en el mismo período los artículos sobre biotecnología alcanzaron un incremento cercano al 75 %. Asimismo, pasaron de abarcar el 3,6 % de las

publicaciones totales en SCI en 2000 a representar el 4,5 % de los registros totales en 2008. Para la región iberoamericana considerada como conjunto, el total de publicaciones en SCI creció casi un 75 % mientras sus documentos en biotecnología aumentaron un 152 %. La tendencia de crecimiento de la proporción de artículos en este campo que fue observada para el total mundial se mantuvo en Iberoamérica, que pasa de abarcar el 3,4 % en 2000 al 4,9 % en 2008.

Figura 6.3: Total de publicaciones mundiales e iberoamericanas en biotecnología (Base 2000=100)

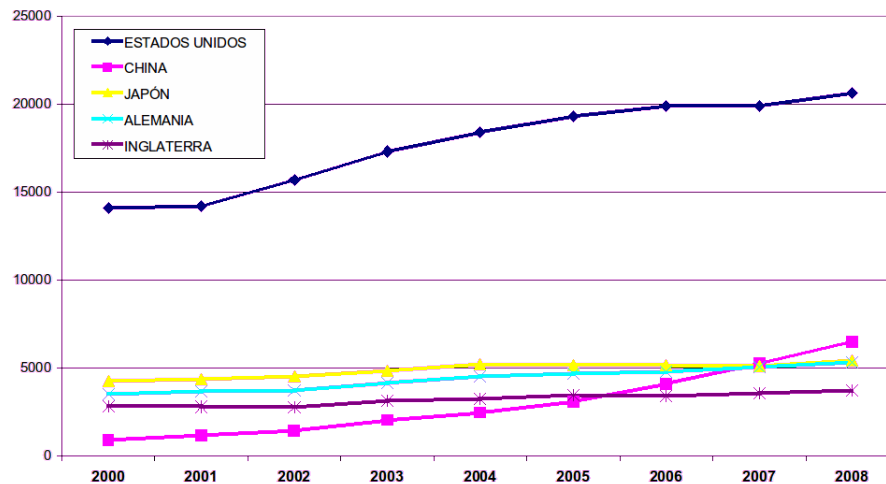


En la Figura 6.4 se presenta la evolución de las publicaciones científicas de los cinco países del mundo más productivos en el campo de la biotecnología durante 2000-2008. Se ha utilizado la metodología de contabilización por enteros, esto es, se ha contado un registro completo para cada uno de los países participantes. Debido a las repeticiones generadas por las co-autorías en colaboración internacional, la suma de la producción de los países es superior al total mundial.

Los resultados obtenidos muestran un claro liderazgo de Estados Unidos que, contabilizando 14.103 artículos en 2000 y 20.650 en 2008, mantiene una presencia superior a la tercera parte del total en todo el período. En segundo lugar en 2008 aparece China, país que se destaca muy especialmente del resto por su marcado crecimiento: multiplica por más de siete su producción entre puntas (pasa de 899 a 6.493 registros) y avanza desde el undécimo lugar que ocupaba en 2000. Es importante señalar que el explosivo crecimiento de la producción china no es un fenómeno privativo de la biotecnología, sino que se registra en mayor o menor medida en todas las disciplinas, posicionando a ese país entre los de mayor producción científica en el mundo. Completan la lista de los cinco países más importantes en este campo Japón (responsable del 10 % de la producción mundial del período), Alemania e Inglaterra, los tres con un crecimiento moderado.

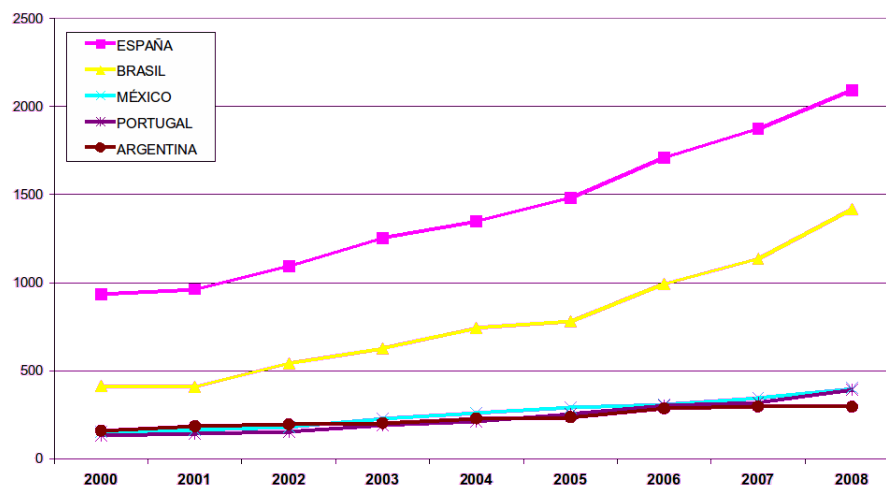
La Figura 6.5 muestra la evolución de la producción científica de los países con más publicaciones en biotecnología durante 2000-2008 en el ámbito iberoame-

Figura 6.4: Publicaciones de los principales países del mundo en biotecnología



ricano. En orden decreciente, los cinco países líderes en la temática a escala regional son: España, Brasil, México, Portugal y Argentina.

Figura 6.5: Producción de principales países iberoamericanos en biotecnología



El desempeño de España se destaca especialmente por su fuerte presencia y crecimiento sostenido: participa en el 45,8 % de la producción científica en biotecnología iberoamericana del período, ascendiendo de 934 artículos en 2000 a 2.090 en 2008.

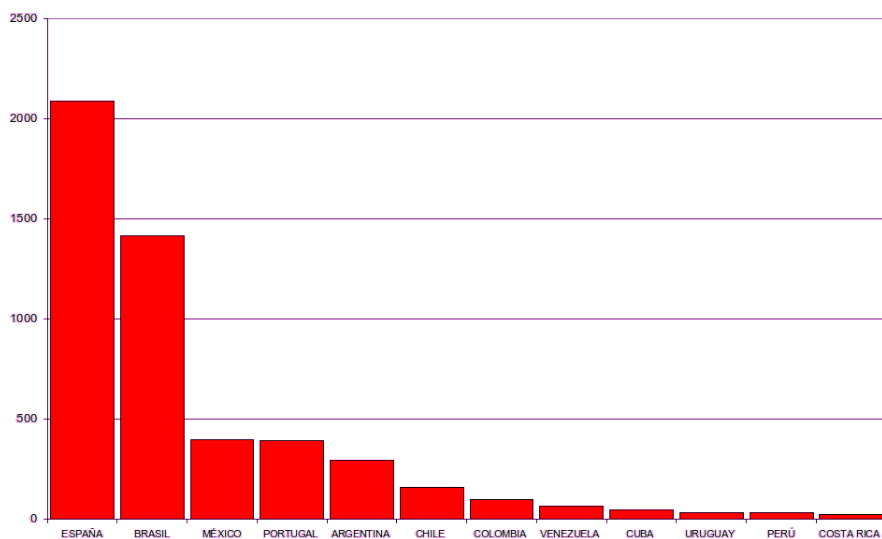
En segundo lugar durante todo el período analizado se encuentra Brasil, país

latinoamericano que es responsable de la cuarta parte (25,4 %) de la producción científica en biotecnología iberoamericana y que también presenta un crecimiento continuo, con un aumento del 227,7 % en su aporte al SCI en la temática.

Crecimientos relativos importantes pero un poco menores registraron, para igual período, México y Portugal (que ocupan el tercer y el cuarto lugar en la región respectivamente, con aumentos de un 165 % y un 197 %), aunque ninguno de ellos alcanza siquiera a la tercera parte del volumen total de artículos científicos en biotecnología generados por Brasil. Finalmente, y en el quinto lugar de la región, Argentina presenta un crecimiento más contenido del 84 % durante el período 2000-2008.

En la Figura 6.6² se puede observar la participación de cada país en el conjunto de la producción científica en biotecnología reciente de Iberoamérica. España sobresale por su gran volumen de artículos publicados en la temática en 2008, con 2.090 documentos. En segundo lugar se encuentra Brasil, con 1.405 publicaciones especializadas en este campo. En el tercer y el cuarto lugar se ubican México y Portugal, que registran 400 y 392 artículos, respectivamente. Argentina, en el quinto lugar, presenta ese año una producción científica de 295 artículos en el SCI en biotecnología.

Figura 6.6: Publicaciones de los países iberoamericanos en biotecnología



A los cinco principales países iberoamericanos siguen, en orden decreciente, Chile (con 162 publicaciones), Colombia (con 99), Venezuela (con 67), Cuba (con 47), Uruguay y Perú (ambos con 33) y, finalmente, Costa Rica (con 26). Otros países de la región registran, en cambio, menos de una decena de artículos publicados en biotecnología en 2008.

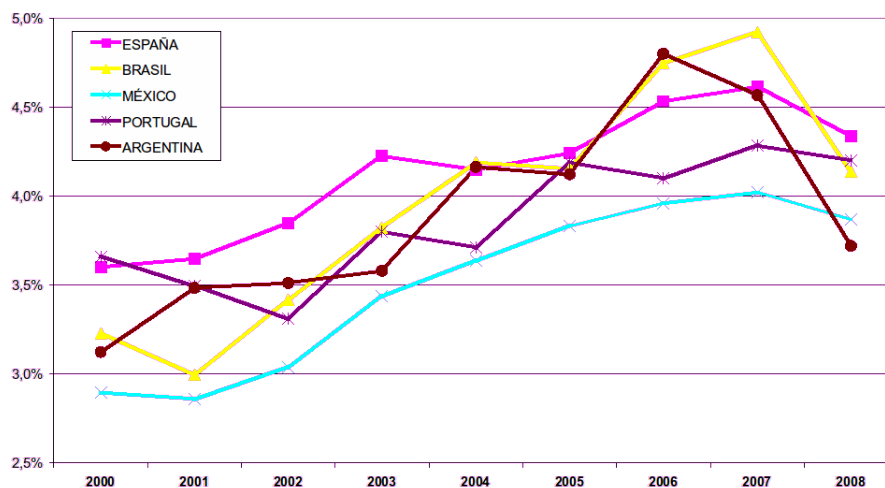
Si se observa la cantidad de publicaciones que un país registra en una temática, en relación con el número total de sus publicaciones, se obtiene un valor que representa el nivel de especialización que ese país tiene en la materia que se esté

²Año 2008. Se incluyen países con más de 10 publicaciones.

analizando. Observando la evolución del porcentaje de la producción científica en biotecnología durante 2000-2008 en relación al total de la producción registrada en el SCI, los cinco principales países iberoamericanos en la materia según sus volúmenes de publicaciones (España, Brasil, México, Portugal y Argentina) presentan trayectorias diferentes.

Como muestra la Figura 6.7, Brasil era, entre los países presentados, el tercero en cuanto a proporción de producción científica en biotecnología en el SCI en 2000 (3,2 %). Desde ese momento, su especialización en biotecnología creció de manera sostenida (luego de una pequeña caída en 2001) hasta alcanzar en 2007 el mayor valor de la región (4,9 %), presentando en 2008 (junto con otros países de la región) un descenso brusco.

Figura 6.7: Porcentaje de publicaciones en biotecnología en relación al total



Portugal, en cambio, era el más especializado de estos países en 2000 (3,7 %) y el que presenta las mayores irregularidades en algunos años del período. España y México, en el segundo y el quinto lugar en 2000, respectivamente, tienen ambos los incrementos más constantes del grupo hasta el 2007, decayendo también ambos en 2008: España pasa del 3,6 % en 2000 al 4,6 % en 2007 (pasando al 4,3 % en 2008), mientras que México asciende del 2,9 % en 2000 al 4 % en 2007 (para bajar una décima en 2008).

Finalmente, el perfil de especialización biotecnológica argentina tiene un comportamiento muy similar al de España y México, pero registrando hacia 2006 un decrecimiento relativo de su volumen de artículos en biotecnología en relación al total de artículos registrados en las bases de datos internacionales del SCI.

Los descensos bruscos en la especialización de los países latinoamericanos pueden ser explicados, en alguna medida, por un cambio en la colección de revistas indexadas por el SCI. A partir de 2008, con el objetivo de fortalecer la representatividad de la producción científica de la región en la base, se incorporaron alrededor de 700 nuevas publicaciones regionales (principalmente brasileñas).

Estos títulos generaron un fuerte incremento de los artículos regionales, pero dado que sus temáticas no se concentraron en temas relacionados con la biotecnología, el crecimiento en esta área no fue proporcional. Por ese motivo, si bien la cantidad absoluta de registros de los tres países latinoamericanos en biotecnología creció en 2008, al hacerlo en menor medida que su producción total, sus índices de especialización presentan un sensible descenso.

6.2.2. Colaboración internacional

La biotecnología es un área de esencia multidisciplinaria, que impacta de manera transversal en diferentes campos del conocimiento. Por otro lado, el avance de las fronteras del conocimiento requiere en la actualidad equipamientos costosos de alta tecnología, de manera que la colaboración con diferentes grupos de investigación se hace imprescindible. En este sentido, el análisis de los eventos de colaboración internacional y nacional de cada país permite comprender mejor la evolución de la biotecnología en la región.

La Figura 6.8 muestra tres tendencias bien marcadas en la producción científica en biotecnología en colaboración registrada en el SCI de Iberoamérica a nivel regional. En primer lugar, aún la mayoría (60 %) de las publicaciones en biotecnología de autores iberoamericanos del período fue realizada sin colaboración internacional y, además, se ha ido incrementando en forma sostenida en los últimos nueve años (aumentando cerca del 170 % entre 2000 y 2008). En segundo lugar, también se ha ido incrementando a nivel iberoamericano la presencia de la “colaboración internacional”, es decir, la colaboración producida entre un país de Iberoamérica y uno o más países no iberoamericanos (registrando un 130 % más entre puntas). Finalmente, una tercera tendencia observada es la débil presencia tanto de la “colaboración ibero-internacional” (aquella registrada entre dos o más países de la región y uno o más países extra-regionales), que sin embargo crece de 41 artículos científicos en 2000 a 107 documentos en 2008, como de la “colaboración iberoamericana” (aquella producida entre autores pertenecientes a dos o más países iberoamericanos), que resulta el tipo de producción con menor aumento durante el período analizado. Estas tres tendencias quedarán mejor explicadas a partir de las composiciones relativas de la producción científica en biotecnología en colaboración de España y Brasil, los grandes motores del crecimiento iberoamericano en la temática.

La Figura 6.9³ presenta la composición del conjunto de la producción científica en biotecnología de los cinco principales países iberoamericanos en 2008. La colaboración internacional resulta una característica relevante de su forma de producción del conocimiento científico biotecnológico, pero muestra diferentes matices.

Portugal y Argentina son los países que presentan más producción en colaboración, fundamentalmente con países no iberoamericanos (cerca del 40 % y del 30 % respectivamente) o con otros países de Iberoamérica (10 % en ambos casos), a lo que se suma una pequeña porción de producción en colaboración que combina socios extra e intra regionales. España muestra también una importante producción científica en biotecnología en colaboración (42,2 %), fuertemente

³Acumulado 2000-2008.

Figura 6.8: Colaboración internacional iberoamericana en biotecnología

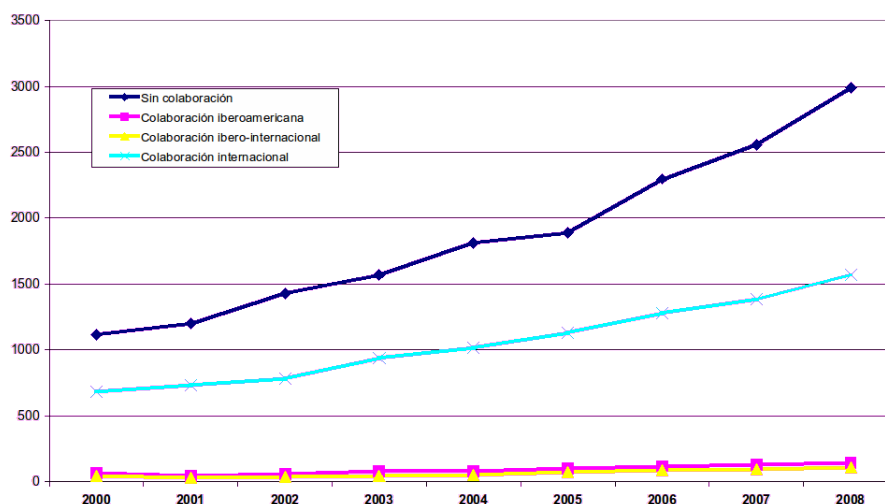
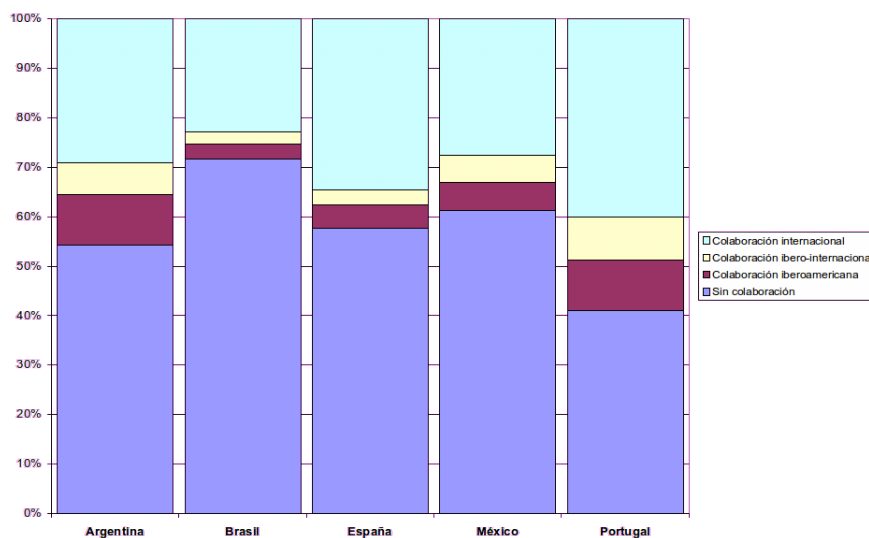


Figura 6.9: Patrones de colaboración en biotecnología según país

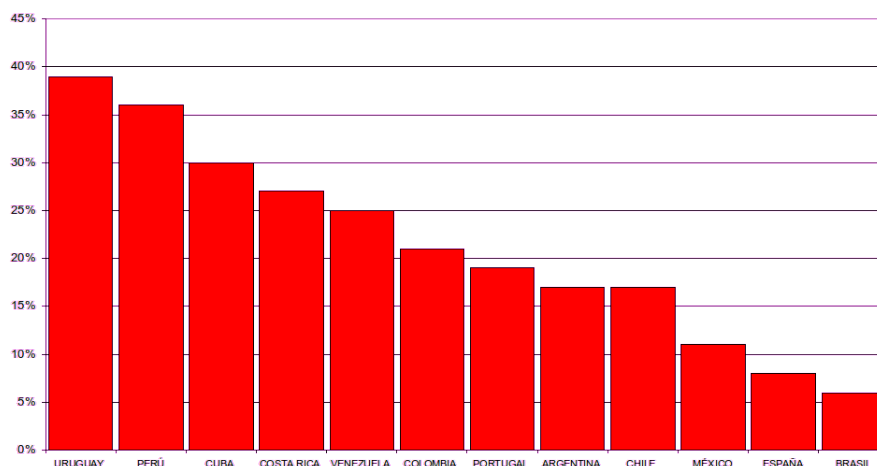


concentrada en copublicaciones con autores no iberoamericanos. Brasil y México, los dos países latinoamericanos que completan el grupo de los cinco principales, son los que tienen la menor proporción de publicaciones científicas en colaboración (más del 70 % y del 60 % de la producción brasileña y mexicana, respectivamente, en este campo temático son realizadas sin ninguna colaboración internacional). Sin embargo, cabe marcar fuertes diferencias entre ambos: mientras México presenta un patrón de colaboración similar al de Argentina (con más del 10 % de copublicaciones iberoamericanas o ibero-internacionales),

Brasil concentra su colaboración internacional con países no iberoamericanos.

La Figura 6.10⁴ permite comparar el peso relativo que tiene actualmente la co-publicación iberoamericana en la producción científica en biotecnología que se realiza en las revistas de la denominada “corriente principal” por los países de la región. Resulta un dato muy significativo para algunos países iberoamericanos con sistemas de ciencia y tecnología pequeños y con baja producción científica en biotecnología disponible en las bases de datos del SCI, como es el caso de Uruguay (con el 39 % de su producción en biotecnología de 2008 en colaboración “intra-iberoamericana”), Perú (36 %), Cuba (30 %) y Costa Rica (27 %). Es también de cierta importancia para países de desarrollo medio, como Venezuela (25 %), Colombia (21 %) y Chile (17 %).

Figura 6.10: Porcentaje de colaboración iberoamericana en biotecnología



Este alto porcentaje de co-publicaciones iberoamericanas, e internacionales en general, observados en los países más pequeños, puede explicarse en alguna medida por un acceso limitado a la tecnología y la infraestructura necesarias para el desarrollo de las actividades de I+D. Esos requerimientos incentivan la búsqueda de la complementación internacional, como una manera de resolver las necesidades internas.

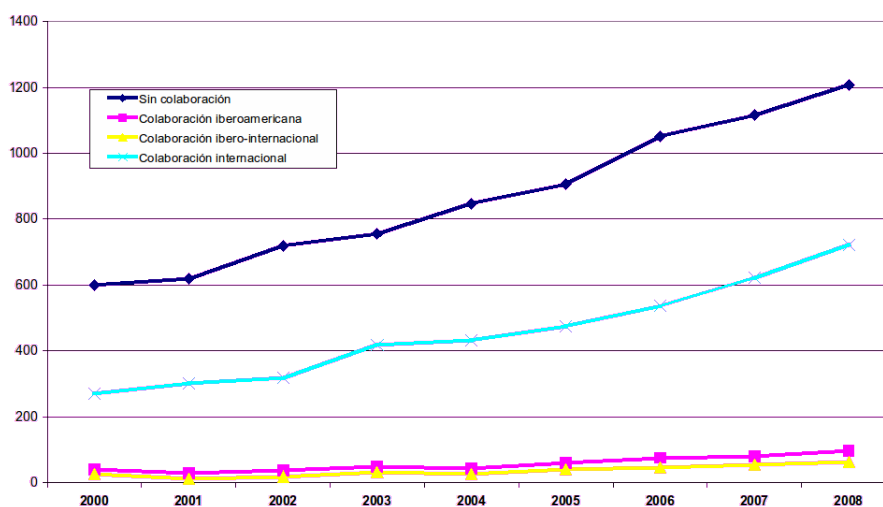
Las figuras 6.11 a 6.15 muestran la evolución durante 2000-2008 de la producción científica en biotecnología en colaboración de los cinco principales países iberoamericanos en esta temática.

El caso español (Figura 6.11), dado el volumen relativo de su producción (46 % de las publicaciones de la región iberoamericana considerada en forma conjunta), refleja tendencias muy similares a las observadas más arriba, de fuerte y continuo crecimiento de la producción científica en biotecnología sin colaboración (que se duplica a lo largo del período) y, fundamentalmente, de la copublicación internacional (que se incrementa un 170 %). Las colaboraciones iberoamericanas

⁴ Año 2008. Países con más de 10 publicaciones.

e ibero-internacional, asimismo, no resultan muy significativas para el país que ejerce el liderazgo regional en la producción científica en biotecnología (representan sólo el 6,8 % de la producción total española en esa temática durante 2000-2008, mayor empero al 5 % que representan ambos tipos de producción con respecto al total iberoamericano), pero registran un constante crecimiento a lo largo de todo el período considerado.

Figura 6.11: Publicaciones españolas en biotecnología según colaboración



En el caso brasileño (Figura 6.12), el segundo líder de la región iberoamericana en producción científica en biotecnología (con participación en el 25 % de las publicaciones regionales en la temática), se destaca una trayectoria marcadamente ascendente en su principal forma de producción: la elaboración de artículos sin colaboración, que pasa de 221 artículos en 2000 a 1014 documentos en 2008. La colaboración internacional se mantiene en constante aumento durante 2000-2008 (con apenas una pequeña caída en 2003), mientras que tanto la colaboración iberoamericana como la ibero-internacional resultan poco significativas, presentando un crecimiento lento y con algunos altibajos.

El caso mexicano (Figura 6.13) muestra una pronunciada pendiente creciente de la producción científica en biotecnología realizada sin colaboración (que, como se señaló antes y al igual que en el caso brasileño, es la principal forma de generación de conocimiento de México en esta temática durante el período analizado, más que triplicándose en los años considerados), un crecimiento moderado pero constante de la producción en colaboración internacional (la segunda manera más importante de elaboración de documentos científicos en la temática de este país) y una muy baja presencia con tendencia levemente creciente (aunque con algunos altibajos) de la colaboración con otros países iberoamericanos y de la colaboración ibero-internacional.

El caso portugués (Figura 6.14) es el único de estos cinco países iberoamericanos cuyas trayectorias de generación de conocimiento -sin colaboración y

Figura 6.12: Publicaciones brasileñas en biotecnología según colaboración

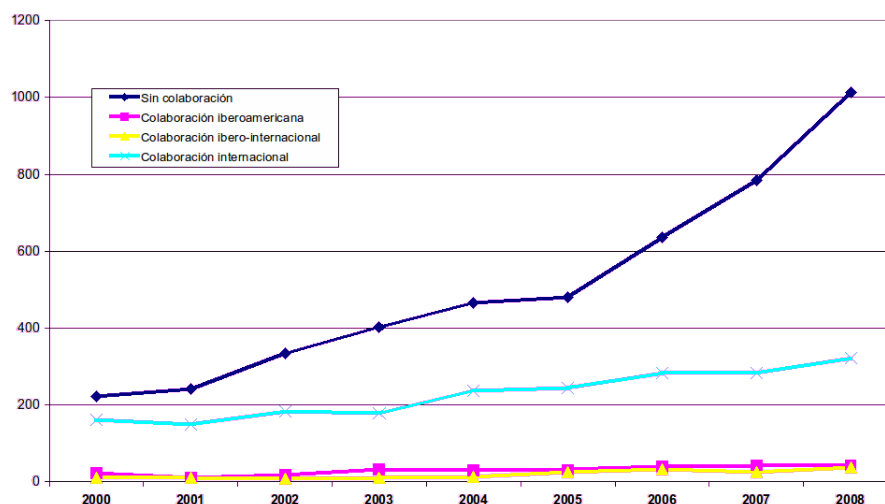
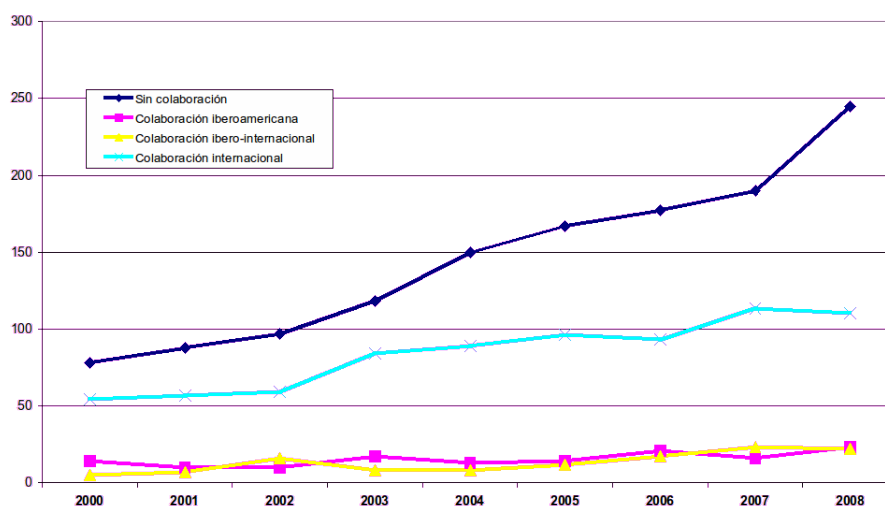


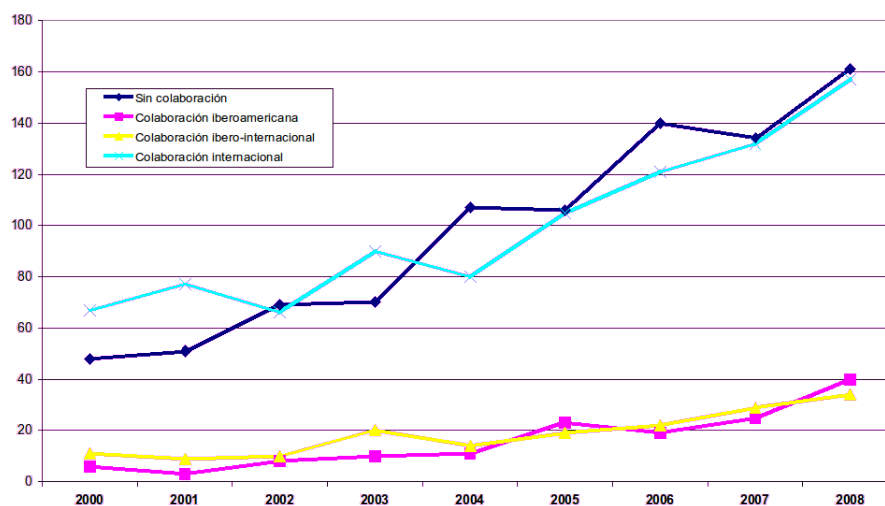
Figura 6.13: Publicaciones mexicanas en biotecnología según colaboración



en colaboración internacional- se acercan notablemente e incluso en varios momentos del período 2000-2008 se entrecruzan. La producción en colaboración ibero-internacional e iberoamericana es muy pequeña, pero crece con pequeñas fluctuaciones durante todo el período analizado.

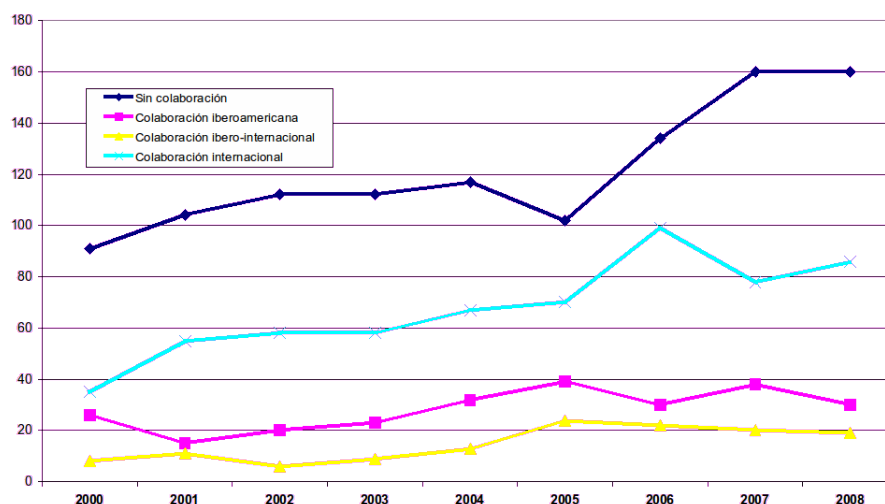
Finalmente, el caso argentino (Figura 6.15) muestra cómo la evolución de la colaboración (tanto internacional como iberoamericana y, aunque en forma aún incipiente, ibero-internacional) en las publicaciones del período 2000-2008 es una de las principales causas del crecimiento de la producción científica de ese país en

Figura 6.14: Publicaciones portuguesas en biotecnología según colaboración



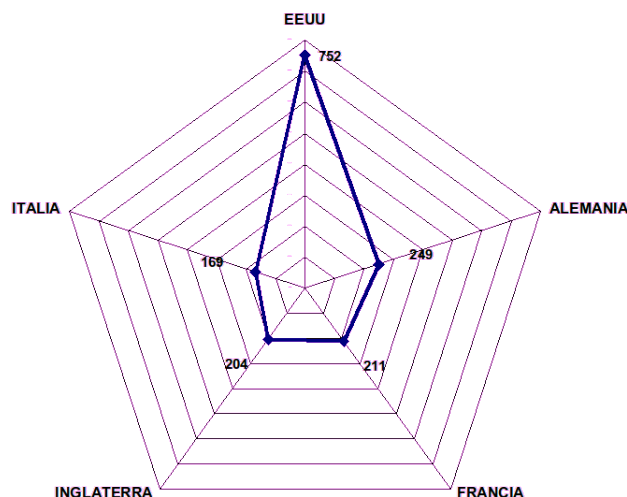
biotecnología. Puede afirmarse que se trata de un campo temático fuertemente vinculado con el exterior (un exterior principalmente extra-iberoamericano), con los importantes efectos positivos que ello tiene sobre la visibilidad internacional de la producción científica local. En cuanto a las publicaciones en biotecnología sin colaboración internacional, ellas muestran un descenso importante en 2005, posiblemente consecuencia de la crisis argentina de 2001-2002, pero retomando la curva ascendente desde 2006.

Figura 6.15: Publicaciones argentinas en biotecnología según colaboración



El detalle de los cinco países con los cuales Iberoamérica como conjunto mantiene mayor colaboración internacional en biotecnología durante 2008 puede verse en la Figura 6.16. Ellos son, en orden decreciente, Estados Unidos (el líder mundial en la temática, con una actuación en la colaboración con la región más que destacada), Alemania (país que ocupa el cuarto lugar), Francia (sexto lugar mundial), Inglaterra (quinto lugar) e Italia (séptimo lugar). Se trata de una estrecha colaboración norteamericana-europea, que excluye, por el momento, a los líderes asiáticos en la temática (China y Japón, el segundo y el tercer país, respectivamente, en el ranking mundial), probablemente por diferencias culturales y de tradición en los procesos de generación de conocimiento.

Figura 6.16: Colaboración en publicaciones iberoamericanas en biotecnología (2008)



España muestra una profundización de la tendencia observada para Iberoamérica en su conjunto (Figura 6.17), no registrando a ningún país de la región entre sus principales colaboradores. Concentra la gran mayoría de su producción en colaboración internacional reciente en Estados Unidos, Alemania, Francia, Italia e Inglaterra, los mismos cinco principales países de Iberoamérica aunque apenas modificando el orden de posición entre los países que ocupan respectivamente el cuarto y el quinto lugar.

Brasil (Figura 6.18) presenta una producción en colaboración básicamente concentrada en Estados Unidos. En un alejado segundo lugar (con menos de un quinto de los artículos en colaboración publicados con autores norteamericanos) se encuentra Francia, en el tercer lugar Alemania y en el cuarto Inglaterra, como se observa en el total regional. Sólo un país iberoamericano, España, aparece en el último puesto entre los cinco con mayor porcentaje de copublicación en biotecnología para los investigadores brasileños.

México (Figura 6.19) tiene también, en 2008, una colaboración internacional fuertemente concentrada en Estados Unidos. En un segundo y notoriamente distante lugar se ubica España, en el tercer lugar está Francia, en el cuarto

Figura 6.17: Colaboración en publicaciones españolas en biotecnología (2008)

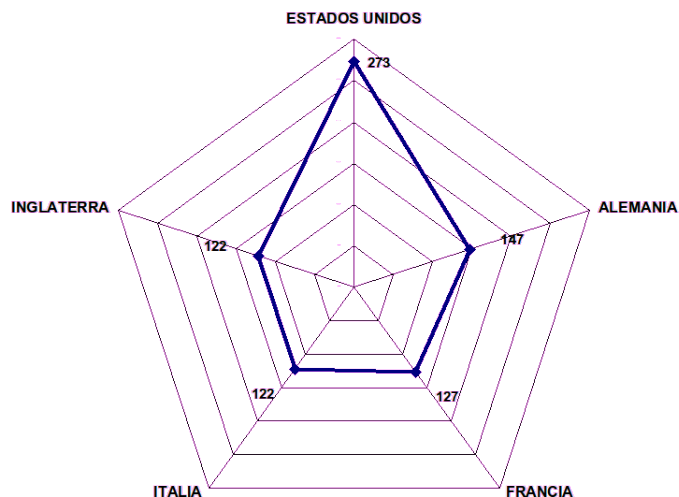
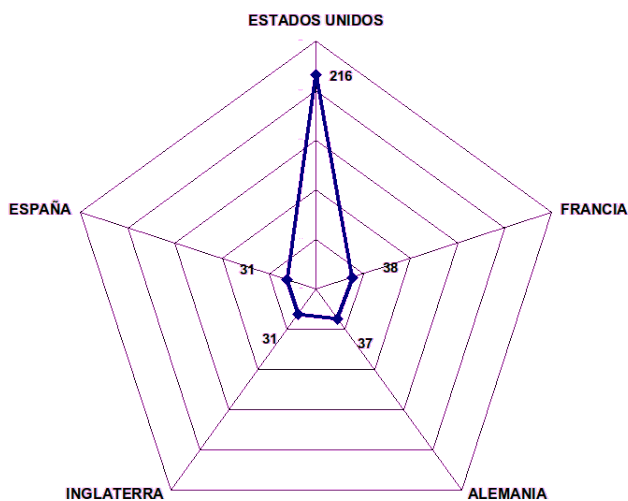


Figura 6.18: Colaboración en publicaciones brasileñas en biotecnología (2008)



China (colaboración que marca una nota distintiva con respecto a los demás países líderes en la región) y en el quinto aparece el segundo país iberoamericano con el que colabora, Argentina (teniendo con los tres últimos países menos de una veintena de artículos firmados en colaboración).

La colaboración portuguesa reciente en publicaciones científicas en biotecnología (Figura 6.20) tiene a Estados Unidos como principal socio, pero se produce fundamentalmente con otros colegas europeos: España, Inglaterra, Francia y Alemania.

Figura 6.19: Colaboración en publicaciones mexicanas en biotecnología (2008)

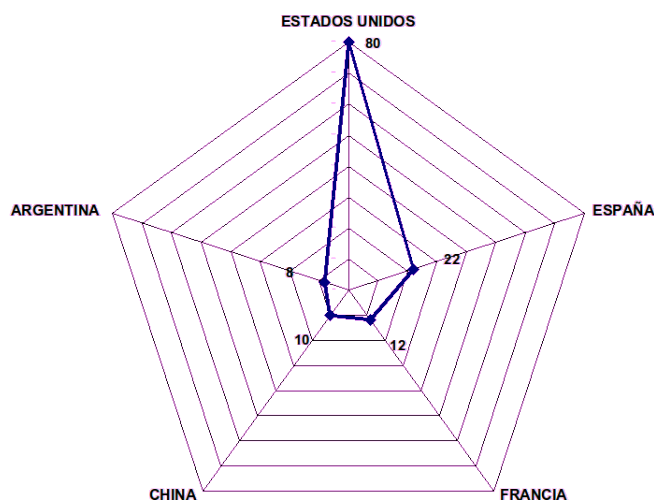
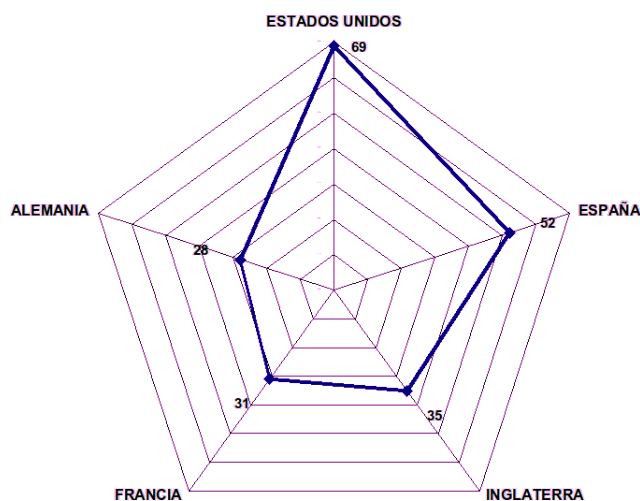
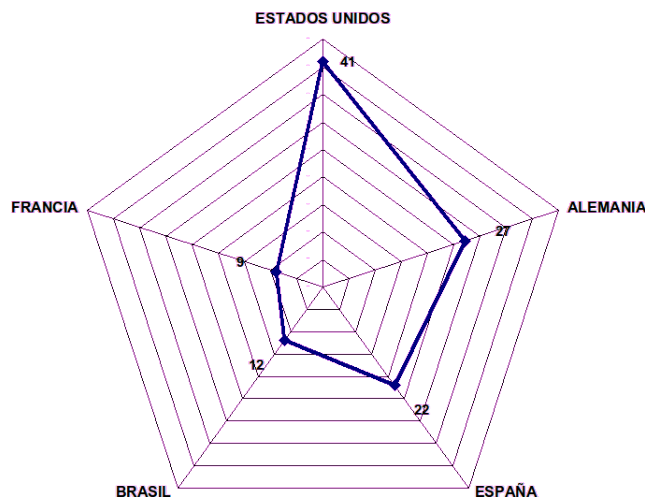


Figura 6.20: Colaboración en publicaciones portuguesas en biotecnología (2008)



Finalmente, Argentina (Gráfico 21) presenta una colaboración internacional en biotecnología fuertemente concentrada en Estados Unidos y, aunque en menor medida, en Alemania y España (explicando estos tres países más del 80 % de la producción en colaboración argentina en 2008). Completan los cinco principales países con los cuales colaboran los investigadores argentinos en este campo el latinoamericano Brasil en el cuarto puesto y el europeo Francia en el quinto.

Figura 6.21: Colaboración en publicaciones argentinas en biotecnología (2008)



6.2.3. Iberoamérica en las redes de colaboración internacional

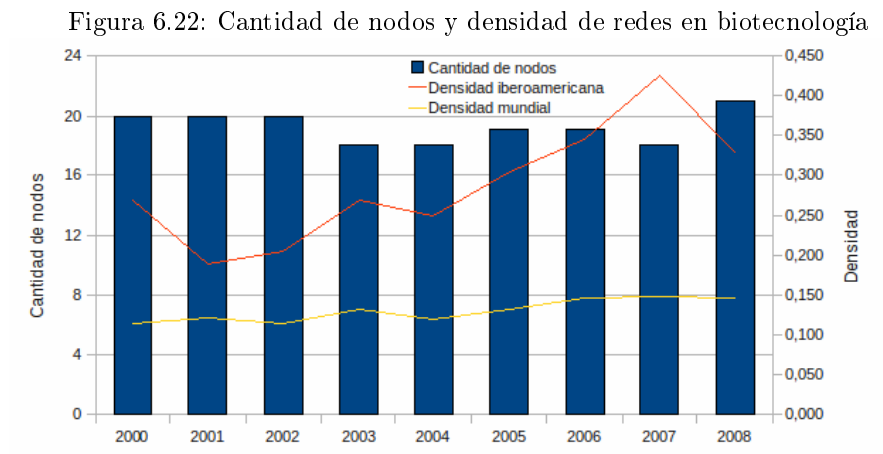
A nivel mundial, y en mayor o menor medida en todas las disciplinas, la producción de conocimiento se ha convertido en una actividad plenamente colaborativa. Mediante el estudio de la firma conjunta de artículos científicos, es posible reconstruir las redes de colaboración que han articulado el desarrollo de las actividades de I+D. Esas redes se dan a múltiples niveles, desde lo personal hasta lo institucional o nacional. Las estructuras de la colaboración presentan patrones que se encuentran influenciados por el devenir de la prioridad dada a temas determinados, pero también por cuestiones geográficas, idiomáticas, culturales y políticas.

Iberoamérica es un bloque que presenta un creciente grado de integración, medido a partir de la firma conjunta de publicaciones por parte de instituciones de la región. El incremento de esta tendencia hacia la colaboración intrarregional da cuenta de la consolidación del espacio iberoamericano del conocimiento, como un área de mayor circulación de la información. Este fenómeno, al igual que en otras áreas y disciplinas, se puede apreciar en el terreno de la biotecnología.

El nivel de integración de las redes puede ser medido con la ayuda de técnicas provenientes de la teoría de grafos. La intensidad y cambios en este fenómeno, evidenciado a través de la firma conjunta de artículos, pueden ser cuantificados mediante el indicador de densidad. Esta medida da cuenta de la cantidad de enlaces existentes sobre el total de los enlaces posibles. La Figura 6.22⁵ muestra la evolución comparada, durante 2000-2008, de la densidad de la red de producción científica en el campo de la biotecnología a nivel mundial y la de la red compuesta por el total de la producción científica en biotecnología de Iberoamérica,

⁵Se incluyen sólo aquellos países con más de 10 artículos.

evolución que es cuantificada en el eje derecho. Las barras dan cuenta del número de nodos participantes en la red iberoamericana de producción científica en biotecnología, en cada año del período considerado, número que es cuantificado en el eje izquierdo.



Mientras que la densidad de la red de producción científica a nivel mundial en biotecnología se mantiene relativamente estable durante el período considerado, la integración de las redes de colaboración dentro de la región iberoamericana se mantuvo en todo momento a un nivel superior y registró un fuerte crecimiento, aunque con algunos altibajos. En 2000 la red iberoamericana de biotecnología presentaba un índice de densidad de 0,26, superior al que presentaba la red total internacional (0,11), desciende en 2001, se recupera entre 2002 y 2003 y vuelve a descender en 2004, pero a partir de allí crece pronunciadamente hasta 2007, año en que alcanza una densidad de 0,42 (frente a un 0,14 del total mundial). Finalmente, hacia 2008 se observa un descenso de la densidad de la red iberoamericana, que igualmente se mantiene más que duplicando la densidad del total de la producción mundial en la temática.

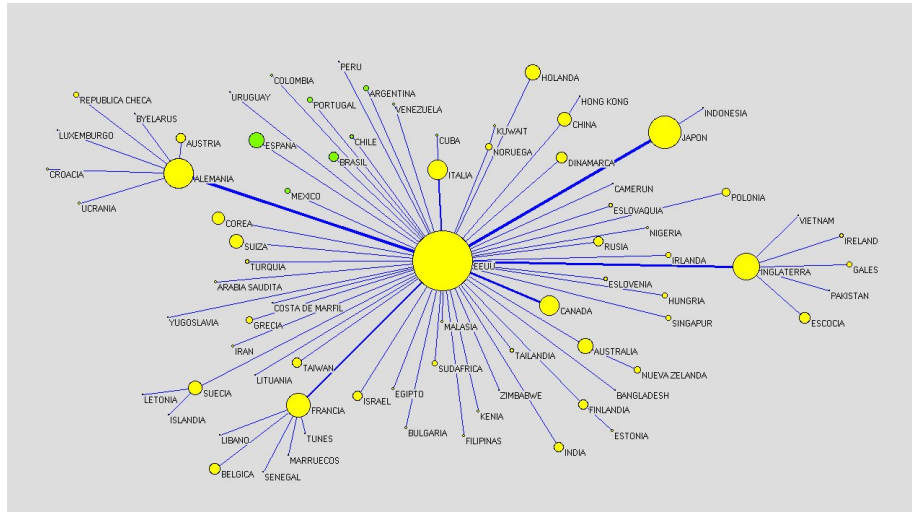
Esta caída de la densidad en el último año puede ser explicada, en buena medida, por la integración de nuevos países a la red en 2008. Mientras que en 2007 había 18 países iberoamericanos con más de 10 artículos en biotecnología, en 2008 ese número ascendió a 21. Los nuevos integrantes de la red, como es natural, cuentan con niveles de relacionamiento mucho menores que aquellos que se encuentran más asentados en el campo y hacen descender sensiblemente la densidad general de la red.

Estas evidencias permiten afirmar entonces que en el campo de la biotecnología, Iberoamérica funciona efectivamente como un espacio de colaboración con un nivel de relacionamiento interno mayor que el promedio general de la red de producción científica mundial en la temática. Se trata así de otra expresión de la creciente conformación de un espacio iberoamericano del conocimiento.

En tal contexto, resulta de interés analizar detalladamente el lugar que ocupan los países de la región en la investigación internacional en biotecnología. El

Figura 6.23⁶ presenta la red de países que queda conformada por la publicación conjunta de artículos en 2000. Se han incluido todos los países con al menos 10 artículos registrados en ese año y se han resaltando los pertenecientes a la región iberoamericana.

Figura 6.23: Red de países con producción científica en biotecnología (2000)



Dado que la cantidad de nodos y relaciones existentes resulta muy extensa, impidiendo la visualización y el análisis, se ha recurrido a técnicas de poda. Ellas consisten en la aplicación de algoritmos que eliminan los lazos menos importantes en la red, dejando tan sólo la cantidad mínima necesaria para no desconectar ningún nodo. El criterio para esto es que el peso de los caminos totales resultantes (en nuestro caso la cantidad de artículos firmados en conjunto) sea el mayor posible. De esta manera se obtiene la estructura básica que subyace en una red de mucha complejidad. El resultado de estas técnicas de poda es un árbol de caminos mínimos (minimum spanning tree, MST) de un grafo. En este caso se ha utilizado una implementación del algoritmo de Prim.

En el año 2000 se observa una red de estructura fundamentalmente radial de 78 países, con pocas ramificaciones, establecida alrededor de la indiscutida hegemonía norteamericana. Estados Unidos ocupaba la posición central del entramado emergente por dos razones: la primera, por ser el país que contaba con más publicaciones científicas en la temática; la segunda, por ser el principal eje articulador de las relaciones con los otros países con una producción importante en este campo: en orden decreciente, Japón, Alemania, Inglaterra y Francia. Aunque incipientes, las principales conexiones científicas, tanto por los nodos que articulan (5 o 6 países según el caso) como por la capacidad de intermediación que presentan, se daban entre Estados Unidos y Alemania (que vinculaba a Austria, República Checa, Bielorrusia, Luxemburgo, Croacia y Ucrania), Francia (que funcionaba de articuladora de Bélgica, Túnez, Marruecos, Senegal y Líbano) e Inglaterra (vínculo con Escocia, Irlanda, Gales, Vietnam y Pakistán).

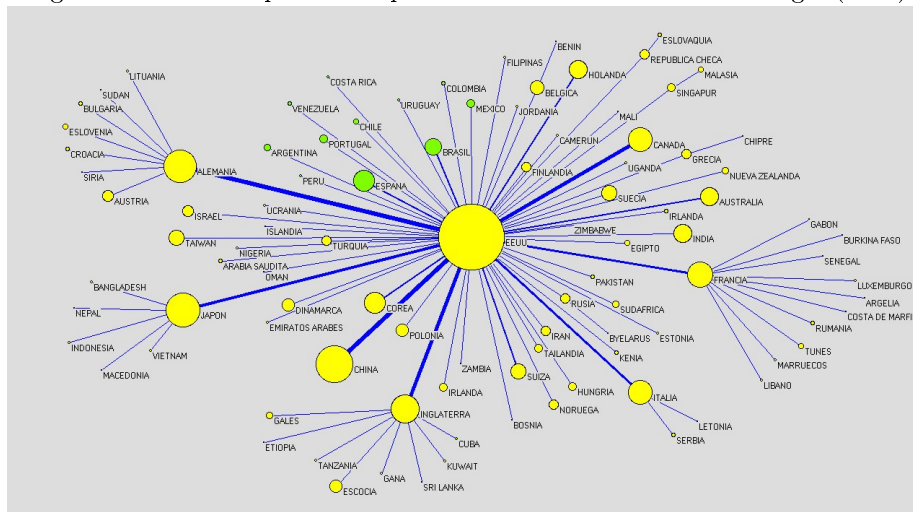
Los once países iberoamericanos presentes en la red de 2000 aparecen vinculán-

⁶Se incluyen sólo aquellos países con más de 10 artículos.

dose científicamente en forma directa con Estados Unidos. Es el caso (en orden decreciente de publicaciones durante ese año) de España, Brasil, Argentina, México, Portugal, Chile, Colombia, Venezuela, Perú y Uruguay. La única excepción a esta regla es Cuba, que ese año aparece manteniendo relaciones con el líder norteamericano a través de Italia.

La Figura 6.24⁷ es la vista de la red de países con producción científica en biotecnología en 2008. Hacia ese año, el entramado de relaciones entre los 99 países del mundo con más de 10 artículos ha crecido notablemente en complejidad, manteniéndose Estados Unidos en el papel central tanto por el enorme volumen de publicaciones que reúne como por ser el principal núcleo alrededor del cual se articulan los demás países que cuentan con producción científica en la temática. Entre ellos, algunos lo hacen en forma radial y otros conforman nodos articuladores de nuevas ramificaciones, no obstante no muy desagregadas.

Figura 6.24: Red de países con producción científica en biotecnología (2008)



Algunos de estos nodos articuladores de relaciones ya habían surgido cumpliendo este rol hacia el año 2000, pero han aumentado y diversificado los países que vinculan a través de su producción científica: son los casos de Alemania (que sigue articulando a los europeos Austria y Croacia, para sumar a los también europeos Bulgaria, Eslovenia y Lituania, al asiático Siria y al africano Sudán), Inglaterra (que sigue vinculando a los europeos Gales, Escocia e Irlanda, y a los asiáticos Vietnam y Pakistán, para sumar a los africanos Etiopía, Tanzania, Ghana, los asiáticos Sri Lanka y Kuwait, más el iberoamericano Cuba) y Francia (que sigue teniendo interacciones con los africanos Túnez, Marruecos y Senegal, así como con el asiático Líbano, sumando a los europeos Luxemburgo y Rumania, y a los africanos Argelia, Gabón, Burkina Faso y Costa de Marfil).

Otros países, en cambio, se inician desempeñando ese papel articulador de nuevos vínculos: Japón e Italia, que en el año 2000 sólo funcionaban como intermediarios entre Estados Unidos y otro país, en el 2008 lo hacen con cinco y dos países, respectivamente.

⁷Se incluyen sólo aquellos países con más de 10 artículos.

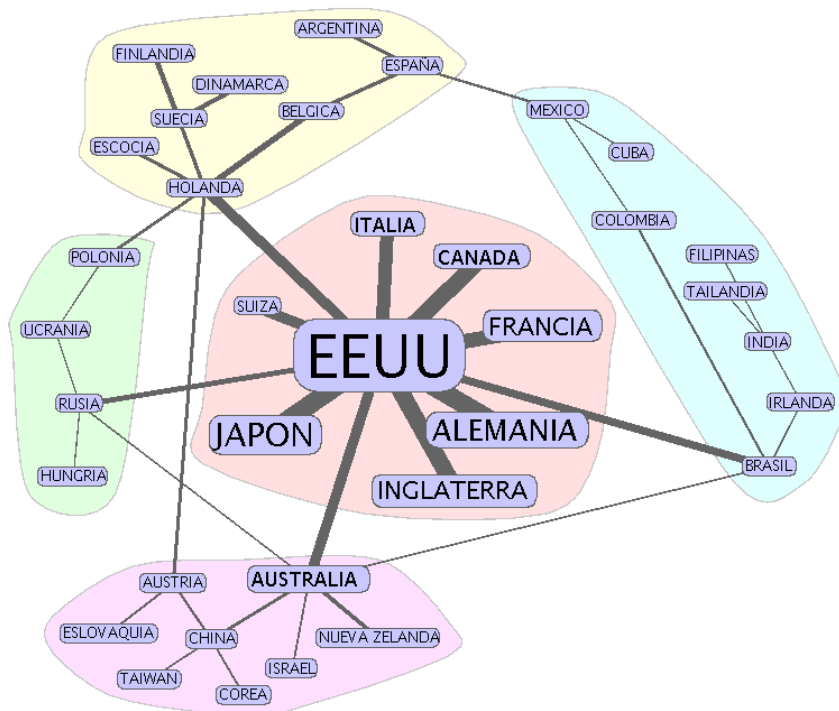
Once de los doce países iberoamericanos presentes en la red emergente en 2008 aparecen articulados al nodo central en forma radial, con relaciones bilaterales directas de colaboración: España, Brasil, México, Portugal, Argentina, Chile, Colombia, Venezuela, Uruguay, Perú y Costa Rica.

La única excepción es nuevamente Cuba, que aparece conectada esta vez a través de Inglaterra. De la misma manera que las redes de colaboración internacional muestran patrones idiomáticos y culturales, en otros caso se evidencian las razones políticas que dificultan la relación directa de Cuba con los Estados Unidos.

Otro enfoque para la representación de las redes internacionales de colaboración incorpora técnicas de clustering. Los algoritmos implementados en este caso, aunque restringen la cantidad de países incluidos (presentando sólo aquellos con patrones de colaboración más marcados) ofrece una visión más clara de la cercanía entre los diferentes nodos, cerrándolos en conglomerados específicos. En redes como la de biotecnología, tan centradas en un sólo nodo (Estados Unidos), las técnicas de clustering ofrecen información muy interesante, complementaria de los datos presentados anteriormente.

La Figura 6.25 permite visualizar el agrupamiento de países conformado por la publicación conjunta de artículos en el año 2000, en base a esta técnica de aglomeración. El resultado es un cluster central integrado por Estados Unidos y los países con el mayor volumen2 de producción en la temática: Japón, Alemania, Inglaterra, Francia, Italia, Canadá y Suiza.

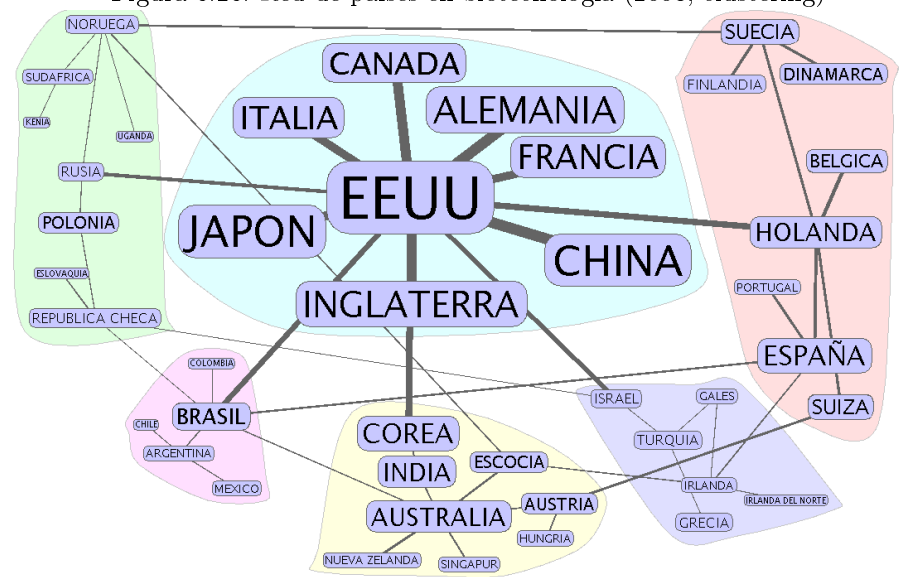
Figura 6.25: Red de países en biotecnología (2000, clustering)



Siempre partiendo de conexiones con el líder internacional en la temática, aparecen otros cuatro conglomerados de países. El primero, originado en las relaciones científicas entre Estados Unidos y el iberoamericano Brasil, aglutina al europeo Irlanda (y por su intermedio, a India, a su vez articulada con Tailandia y Filipinas) y al también iberoamericano Colombia (vinculado a su vez con sus vecinos México y Cuba). El segundo, un cluster fuertemente europeo (pero integrado por países de menor desarrollo que el conjunto central) fundado en importantes relaciones de colaboración científica entre Estados Unidos y Holanda, que articula también a Escocia, Suecia (y por su intermedio, Finlandia y Dinamarca), Bélgica y España (relacionado a su vez con su colega iberoamericano Argentina y, en otro conglomerado, con México). El tercero, surgido de las colaboraciones estadounidenses con Australia, que congrega a Nueva Zelanda, Israel y China (y a través de ella, a Corea, Taiwán, Austria y Eslovaquia). Finalmente, el cuarto, emergente de los vínculos entre Estados Unidos y Rusia, que aglutina también a Hungría, Ucrania y Polonia.

En el año 2008, en cambio (Figura 6.26), Estados Unidos sigue siendo el país articulador de la red y del conglomerado principal. Como novedad, y dado su fuerte crecimiento cuantitativo, China aparece ahora integrando el cluster central.

Figura 6.26: Red de países en biotecnología (2008, clustering)



El desempeño en cuanto a redes de colaboración internacional de los países iberoamericanos registra algunas variaciones. La más importante, y siguiendo las evidencias ya mencionadas y el crecimiento de la densidad de la red iberoamericana entre 2000 y 2008, es que todos los países latinoamericanos que aparecen en el gráfico están agrupados en un mismo cluster, que por otra parte no contiene a ningún país extraregional. Al mismo tiempo, el lazo más fuerte con otros conglomerados (más allá de la relación con Estados Unidos) es el de Brasil y España, que junto a Portugal se ubican en uno de los clusters europeos.

Por otra parte, Argentina pierde la preeminencia de su tradicional cooperación con España, para relacionarse fundamentalmente con Brasil (y, a través de él, tanto con Estados Unidos como con España), México y Chile.

Esta información da cuenta del nivel de integración de los países iberoamericanos en el contexto mundial. Sin embargo, siendo ésta una región de grandes heterogeneidades, en su interior se dan patrones de colaboración y tendencias que ofrecen pistas para explicar también las características de la inserción del espacio iberoamericano en la comunidad científica internacional en el campo de la biotecnología.

6.2.4. Las redes de colaboración iberoamericanas

En el apartado anterior se presentó la posición ocupada por los países iberoamericanos en las redes internacionales de investigación en biotecnología. Para profundizar el análisis de las interacciones entre los países de la región, se detalla a continuación el panorama de la colaboración, plasmada en la firma conjunta de artículos científicos, entre los propios países iberoamericanos. A diferencia de los gráficos de la red mundial, en este caso no se han recortado los lazos existentes. Se han tomado los años que enmarcan el período considerado, para dar cuenta de la evolución de este espacio de interacción en la producción de conocimiento en el campo de la biotecnología.

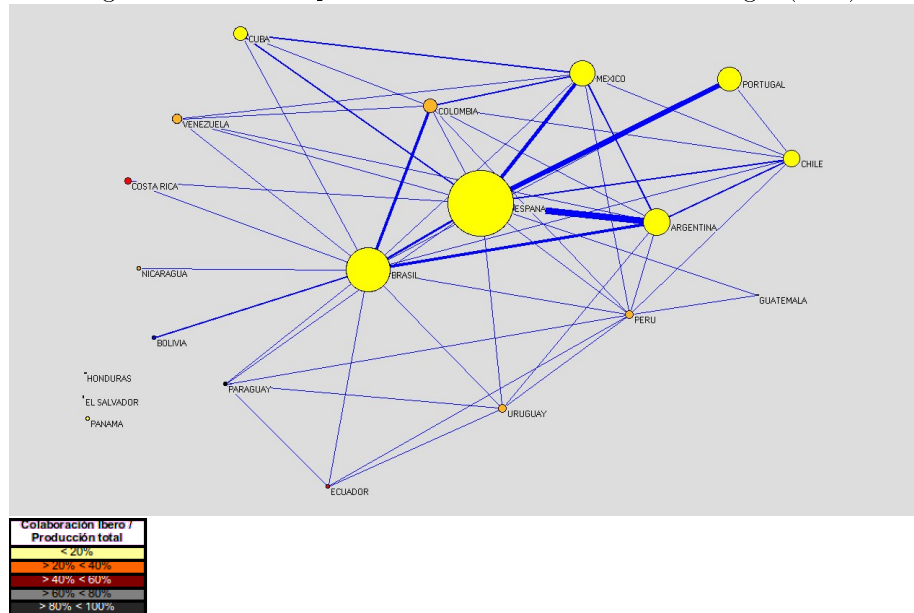
La Figura 6.27 muestra la composición de la red de colaboración científica regional en biotecnología en 2000. El diámetro de los círculos representa la cantidad de artículos publicados, mientras que el grosor de las líneas da cuenta de la cantidad de publicaciones en común. Los colores de los nodos señalan la proporción de la colaboración iberoamericana en relación al total de la producción.

En ese año, la red presentaba un grupo central de 17 países, fuertemente conectado entre sí e integrado por todos los países de mayor producción de la región, junto con algunos de menor volumen de producción en posiciones periféricas. Por último, aparecen tres países, también de volumen menor, sin conexión con otros países iberoamericanos.

Los principales lugares en la red eran ocupados por España, Brasil, Argentina y México, tanto en cuanto a la cantidad de publicaciones en colaboración como a la densidad de sus relaciones con otros países iberoamericanos. Asimismo se pueden observar muy sólidas relaciones bilaterales entre España y Argentina, y entre España y Portugal; en menor medida, también entre Brasil y Argentina. Los dos principales países iberoamericanos en producción en biotecnología en ese año, España y Brasil, muestran una relación entre ambos relativamente débil si se la considera en relación al volumen total de su producción en la temática y a sus relaciones con otros países.

Los países de mayor producción en biotecnología en Iberoamérica son también aquellos para los que la colaboración con el resto de la región representa un porcentaje menor de su producción: España, Brasil, México, Portugal, Argentina, Chile y Cuba tienen valores inferiores al 20 %. Exceptuando los países que tienen menor producción en biotecnología en la región (con participación menor al 0,8 % de la producción global iberoamericana en la temática, ver Tabla 1) que carecen de masa crítica para este análisis, se observa que los países de

Figura 6.27: Red de países iberoamericanos en biotecnología (2000)



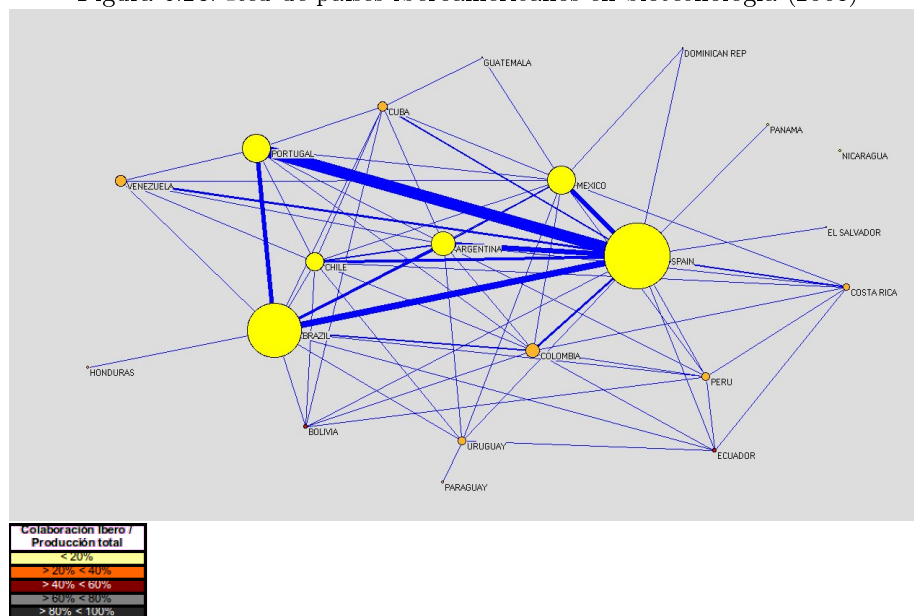
desarrollo intermedio son los de mayor presencia de cooperación iberoamericana: Colombia, Venezuela, Perú y Uruguay presentan valores entre el 20 % y el 40 %.

En 2008 (Figura 6.28), el papel de España se consolidó aún más, superando por un mayor margen a Brasil tanto en cantidad de publicaciones como en intensidad y diversidad de las relaciones con el resto de los países iberoamericanos, entre los cuales se destacan Portugal, Argentina, México y Chile. Las relaciones de colaboración bilateral entre España y Brasil, además, se fortalecen muy considerablemente. Por otra parte, la densidad general de la red iberoamericana resulta muy superior a la de 2000, observándose sólo un país (Nicaragua) sin conexiones con otros países de la región en este año. Argentina desempeña un importante papel en el proceso de integración iberoamericana, incrementando la intensidad de sus relaciones de colaboración científica con España y Brasil, y articulándose también a México, Chile, Portugal, Colombia, Cuba, Venezuela y Uruguay.

Con el propósito de medir la posición de los países en las redes de colaboración y sus cambios a lo largo del período estudiado, es posible recurrir a distintos indicadores propios del análisis de redes. El más simple de estos indicadores es el grado normalizado, que está dado por el número de otros nodos al que uno está directamente vinculado, normalizado por la cantidad total de relaciones posibles. Esta medida da cuenta del nivel de exposición directa de cada nodo a la información que circula por la red.

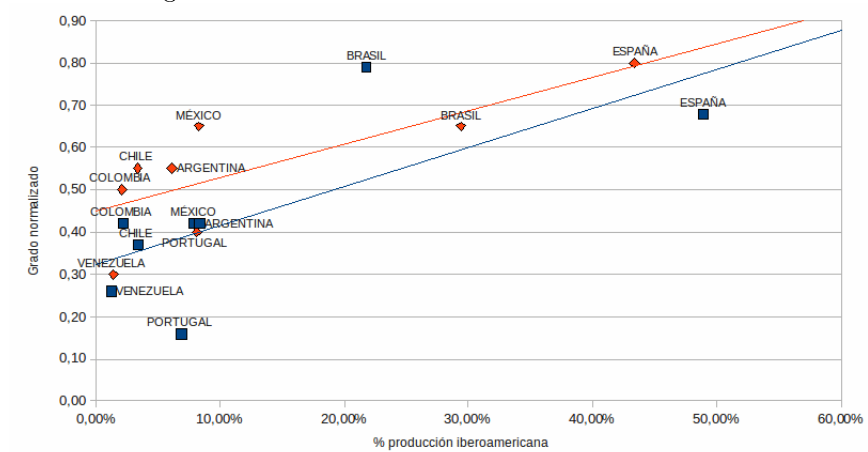
La Figura 6.29 presenta la distribución de los principales países iberoamericanos en materia de publicaciones en biotecnología en un plano definido por la participación porcentual en la producción regional total en el eje x y el grado

Figura 6.28: Red de países iberoamericanos en biotecnología (2008)



normalizado de cada nodo en el eje y. Para observar la evolución de cada país en el contexto de la red, los datos correspondientes a 2000 se presentan en azul y los correspondientes a 2008 en rojo. En ambos casos, se ha trazado en el gráfico una línea de regresión para poder observar la posición relativa de cada país con respecto al conjunto. Los datos completos que dan origen al gráfico, pero para la totalidad de los países iberoamericanos con producción en biotecnología en ambos años, se presentan en el Cuadro 6.1.

Figura 6.29: Grado normalizado y participación en la producción iberoamericana en biotecnología



Se destaca la evolución de Brasil, cuyo crecimiento en el campo de la biotec-

Cuadro 6.1: Grado normalizado y participación en la producción biotecnológica

PAIS	Participación en la producción iberoamericana 2000	Grado 2000	Participación en la producción iberoamericana 2008	Grado 2008
ESPAÑA	48,93 %	0,68	43,43 %	0,80
BRASIL	21,79 %	0,79	29,41 %	0,65
MÉXICO	7,91 %	0,42	8,31 %	0,65
PORTUGAL	6,91 %	0,16	8,15 %	0,40
ARGENTINA	8,38 %	0,42	6,13 %	0,55
CHILE	3,40 %	0,37	3,37 %	0,55
COLOMBIA	2,15 %	0,42	2,06 %	0,50
VENEZUELA	1,20 %	0,26	1,39 %	0,30
CUBA	2,25 %	0,21	0,98 %	0,40
PERÚ	0,84 %	0,53	0,69 %	0,40
URUGUAY	0,84 %	0,32	0,69 %	0,35
COSTA RICA	0,47 %	0,11	0,54 %	0,35
BOLIVIA	0,21 %	0,05	0,19 %	0,30
ECUADOR	0,26 %	0,21	0,19 %	0,30
PANAMA	0,26 %	0,00	0,12 %	0,05
HONDURAS	0,05 %	0,00	0,06 %	0,05
NICARAGUA	0,16 %	0,05	0,06 %	0,00
PARAGUAY	0,16 %	0,26	0,06 %	0,05
GUATEMALA	0,05 %	0,11	0,04 %	0,10
EL SALVADOR	0,05 %	0,00	0,02 %	0,05

nología lo lleva a participar del 30 % de la producción iberoamericana en 2008, mientras que en 2000 lo hacía en el 20 %. Sin embargo, su centralidad en la red regional disminuye tanto en términos absolutos (pasando de 0,79 a 0,65) como en relación a los demás países, apareciendo en el último año analizado levemente por debajo de la línea de regresión.

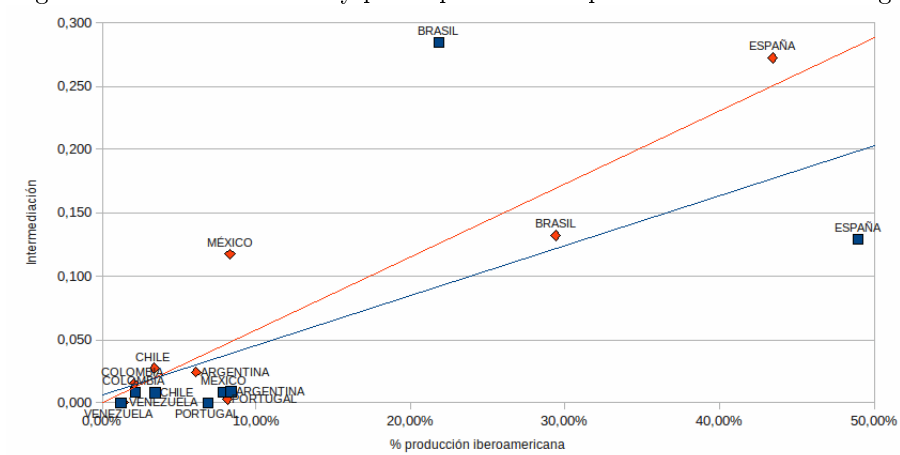
España, en cambio, disminuye proporcionalmente su participación en la producción de la región (del 49 % al 43 % durante 2000-2008) pero aumenta considerablemente su centralidad en la red, pasando de un grado normalizado de 0,68 al comienzo del período a uno de 0,80 hacia el final del mismo.

Otra forma de conocer la centralidad de los países en la red de colaboración es en términos de su intermediación en los caminos de la información. El indicador de intermediación da cuenta de la frecuencia con que un nodo aparece en el camino más corto entre otros dos, medida que puede interpretarse como un indicador de la capacidad de controlar el flujo de información por parte de ese nodo, en nuestro caso cada uno de los países iberoamericanos.

La Figura 6.30 presenta la distribución de los países iberoamericanos con mejor desempeño en materia de producción científica en biotecnología en un plano definido por la participación porcentual en la producción regional total en el eje x y su intermediación en el eje y. Como en el gráfico anterior, es posible

observar la evolución de cada país en el contexto de la red, dado que los datos correspondientes a 2000 se presentan en azul y los de 2008 en rojo, trazándose la línea de regresión para poder visualizar la posición relativa de cada país con respecto al conjunto. El Cuadro 6.2 presenta los datos que dan origen al gráfico, pero para la totalidad de los países iberoamericanos con producción en biotecnología en los dos años considerados.

Figura 6.30: Intermediación y participación en la producción en biotecnología



La primera evidencia a destacar es que, complementariamente a lo observado en el indicador de grado, la intermediación de España, a pesar del leve descenso de su participación en la producción regional entre 2000 y 2008, se ha incrementado fuertemente y en desmedro de la de su seguidor Brasil (pasando, durante esos años, de 0,12 a 0,27 en el caso español y de 0,28 a 0,13 en el caso brasileño). De esta manera, la posición de España en la red se ha vuelto más crítica al tiempo que la del líder latinoamericano ha disminuido (podría pensarse que como resultado de consolidar un patrón de producción menos iberoamericano que nacional y extraregional). Por otra parte, se observa que existen hacia 2008 más caminos que unen a los demás países de la región entre sí, aunque aún pasando muchos de ellos por el de mayor producción, pero en un proceso de creciente integración del espacio iberoamericano del conocimiento.

México, Portugal, Argentina, Chile y Colombia aumentan fuertemente su intermediación en términos absolutos, adquiriendo hacia 2008 una posición de articulación más importante que la que tenían hacia 2000 dentro de la red iberoamericana y sirviendo de puente para la conexión de otros países con menor desarrollo relativo en esta materia.

En conclusión, analizando el conjunto de las redes, el volumen de la producción científica de los países y sus relaciones mutuas, se hace evidente la importancia creciente que tiene el espacio iberoamericano del conocimiento en el campo de la biotecnología. Además, es importante destacar que la colaboración regional es aún más importante para los países de desarrollo medio en la temática, que parecen encontrar en la cooperación iberoamericana una valiosa oportunidad para la consolidación de sus capacidades en investigación y desarrollo.

Cuadro 6.2: Grado normalizado y participación en la producción biotecnológica

PAIS	Participación en la producción iberoamericana 2000	Interm 2000	Participación en la producción iberoamericana 2008	Interm 2008
ESPAÑA	48,93 %	0,129	43,43 %	0,272
BRASIL	21,79 %	0,285	29,41 %	0,132
MÉXICO	7,91 %	0,008	8,31 %	0,118
PORTUGAL	6,91 %	0,000	8,15 %	0,003
ARGENTINA	8,38 %	0,009	6,13 %	0,024
CHILE	3,40 %	0,008	3,37 %	0,027
COLOMBIA	2,15 %	0,008	2,06 %	0,015
VENEZUELA	1,20 %	0,000	1,39 %	0,000
CUBA	2,25 %	0,000	0,98 %	0,030
PERÚ	0,84 %	0,056	0,69 %	0,008
URUGUAY	0,84 %	0,005	0,69 %	0,098
COSTA RICA	0,47 %	0,000	0,54 %	0,004
BOLIVIA	0,21 %	0,000	0,19 %	0,003
ECUADOR	0,26 %	0,000	0,19 %	0,007
PANAMA	0,26 %	0,000	0,12 %	0,000
HONDURAS	0,05 %	0,000	0,06 %	0,000
NICARAGUA	0,16 %	0,000	0,06 %	0,000
PARAGUAY	0,16 %	0,001	0,06 %	0,000
GUATEMALA	0,05 %	0,000	0,04 %	0,000
EL SALVADOR	0,05 %	0,000	0,02 %	0,000

6.2.5. Entramado institucional de la biotecnología iberoamericana

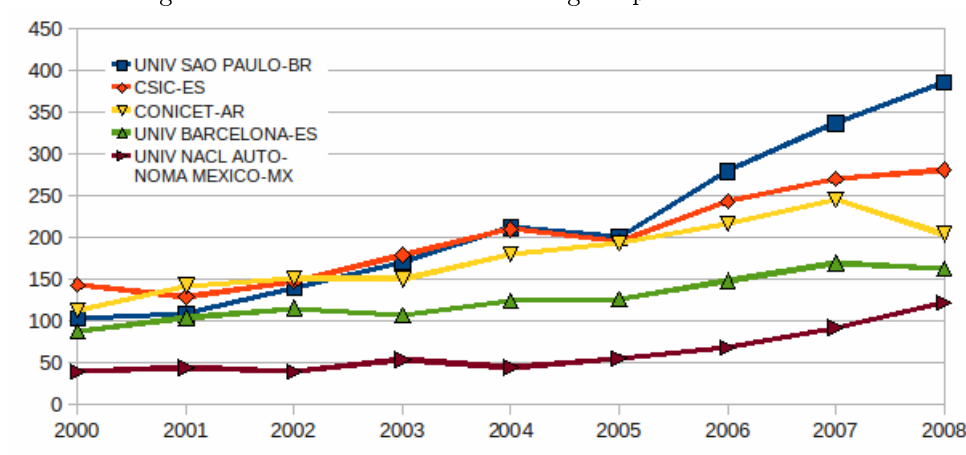
Previamente se han podido detectar patrones y tendencias en la colaboración entre los países iberoamericanos, así como su inserción en redes a nivel mundial. De la misma manera, el análisis de las copublicaciones entre las instituciones más productivas de Iberoamérica, ofrece un interesante panorama del entramado que conforma la investigación en biotecnología a nivel regional.

La cooperación internacional en ciencia y tecnología ha cobrado importancia por el aumento de los desafíos de alcance mundial, tales como la intensificación de la globalización económica o la aparición de nuevos actores mundiales. Se ha vuelto necesario contar con infraestructuras de gran escala para hacer avanzar la investigación en numerosas áreas, lo que requiere cada vez mayor vinculación con instituciones a nivel internacional. Además la integración en redes de colaboración permite a los investigadores participar en discusiones e intercambiar ideas, unirse a equipos para el desarrollo de proyectos, contrastar, adoptar y mejorar el uso de técnicas y metodologías. Esa interacción es interesante para las comunidades científicas, particularmente para las que se encuentran en desarrollo, ya que les facilita incrementar sus capacidades y su integración, propiciando la movilidad de profesionales, la visibilidad y posibilidades de su quehacer cien-

tífico.

Cinco instituciones iberoamericanas dedicadas a la investigación y desarrollo se destacan del resto por su producción científica en biotecnología durante el período 2000-2008 (Figura 6.31). En primer lugar y de acuerdo a su cantidad reciente de publicaciones en la temática, sobresale la brasileña Universidad de San Pablo (USP), que asciende a ritmo sostenido (con sólo una pequeña disminución hacia 2005) desde el tercer puesto en 2000 a ocupar el primero en 2008 como resultado del crecimiento entre puntas más importante (275 %) registrado en el grupo.

Figura 6.31: Publicaciones biotecnológicas por institución



En segundo lugar, se destaca el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) español, conformado por distintos institutos y centros ejecutores de I+D con una presencia muy fuerte en la producción científica nacional. Además de su importancia relativa en la producción iberoamericana en biotecnología, presenta un fuerte ascenso que lo lleva a casi duplicar sus publicaciones durante el período considerado.

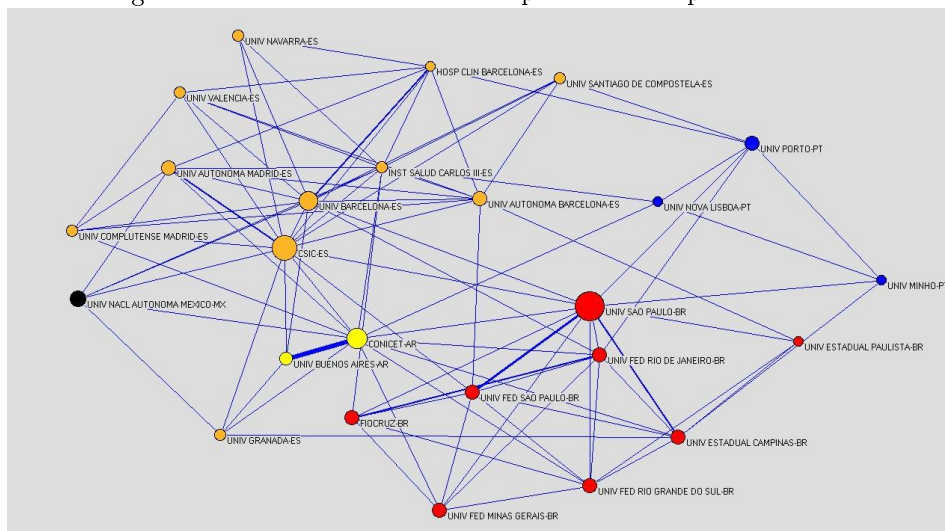
A continuación aparece, con una trayectoria relativamente similar y volúmenes de producción cercanos a su par español, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) argentino. Cabe señalar que, como en el caso del CSIC, ese Consejo argentino agrupa una multiplicidad y diversidad de centros ejecutores de I+D y tiene un fuerte solapamiento institucional con las distintas universidades de ese país, tanto por ser sede de numerosos centros mixtos con el Consejo como por ser lugar de trabajo de investigadores financiados por él. El CONICET registra un crecimiento sostenido hasta 2008 (año en que decae cerca de un 20 % con respecto al año anterior), contabilizando un ascenso del 82 % entre puntas.

Completando los primeros cinco lugares se encuentran otras dos instituciones universitarias, una española y otra mexicana: la Universidad de Barcelona (UB) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), ambas con trayectorias muy parejas aunque con un crecimiento más marcado de la segunda (212 %, frente al 87 % de la primera).

La Figura 6.32 presenta la red de colaboración entre las veinticinco instituciones iberoamericanas con mayor producción científica en biotecnología en 2008. El

volumen de los nodos da cuenta de la cantidad de publicaciones, mientras que los lazos representan artículos firmados en común y su grosor la cantidad de copublicaciones. Los artículos firmados por más de una institución han sido contabilizados por entero para ambas. Los colores de los distintos nodos han sido asignados de acuerdo al país de la institución a la que pertenecen: naranja para España, rojo para Brasil, negro para México, azul para Portugal y amarillo para Argentina.

Figura 6.32: Red de instituciones a partir de la copublicación



Una vez más, en la elaboración de la red se ha aplicado el algoritmo de Kamada-Kawai, que busca distribuir los nodos a distancias lo más uniformes posible y con la menor cantidad de cruces entre los enlaces, asignando fuerzas a cada uno de ellos como si fueran elásticos. Por la aplicación de este algoritmo, el centro del gráfico es ocupado por los nodos más conectados y los nodos más conectados entre sí tienden a agruparse en el espacio.

Consecuentemente, el centro del gráfico de red es compartido por la brasileña Universidad de San Pablo y el CSIC español, las instituciones más productivas en 2008 y con mayor número de enlaces, siendo –fundamentalmente la institución española– las principales articuladoras de la colaboración iberoamericana en biotecnología.

Al mismo tiempo, se observa que las instituciones se agrupan en el espacio de acuerdo al país al que pertenecen, dado que tienen mayores niveles de colaboración entre sí que con el conjunto de la red. La única excepción es la española Universidad de Granada, cuyos fuertes lazos con instituciones brasileñas y argentinas y una universidad mexicana la desplazan levemente de las articulaciones con instituciones de su país.

Entre las veinticinco instituciones iberoamericanas más importantes presentes en la red, once son españolas y ocho brasileñas; sólo tres son portuguesas (vinculadas entre sí y con pares brasileñas y españolas fundamentalmente), dos argentinas y la restante mexicana (la UNAM, vinculada a instituciones españolas y al CONICET argentino).

Cinco de las instituciones españolas presentes tienen vinculación directa con colegas argentinos, cuatro con sus pares brasileñas y mexicanas, y tres con colegas portugueses. Se trata, naturalmente, del CSIC y la UB, junto con la Universidad Autónoma de Barcelona, la Universidad de Granada y el madrileño Instituto de Salud Carlos III. Otras universidades como la Autónoma de Madrid, la de Valencia, de Navarra y de Santiago de Compostela, con volúmenes de producción superiores o muy similares a las dos últimas mencionadas, muestran un patrón de colaboración científica en la temática mucho más nacional entre las diferentes comunidades autonómicas de España.

Las instituciones brasileñas presentes en este conjunto se encuentran fuertemente conectadas, tanto entre ellas como a nivel internacional. Luego de la líder iberoamericana USP se destacan cinco casas de altos estudios, la Universidad Federal de San Pablo (UNIFESP), la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG), la Universidad Federal de Río Grande do Sul (UFRGS), la Universidad Federal de Río de Janeiro (UFRJ) y la Universidad Estadual de Campinas (UNICAMP), junto con la prestigiosa institución de ciencia y tecnología en salud pública Fundación Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), cada una de ellas con un centenar de publicaciones en biotecnología en 2008.

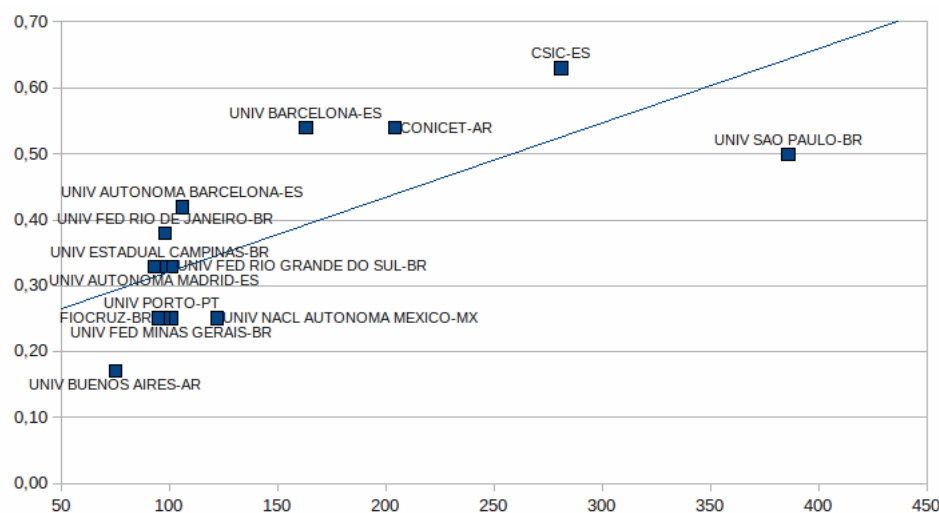
Las instituciones argentinas son el CONICET, que articula una importante porción de las relaciones dentro de la red iberoamericana, y la Universidad del Buenos Aires (UBA). Mientras que a nivel internacional la UBA se conecta en forma directa sólo con el CSIC, la Universidad de Barcelona y la Universidad de Granada, el CONICET tiene vinculación con seis instituciones brasileñas (la USP, la UFRJ, la UNICAMP, la UFRGS, la UFMG y FIOCRUZ), cuatro instituciones españolas (el CSIC, la Universidad Autónoma de Madrid, la Universidad Complutense de Madrid y el Instituto de Salud Carlos III), la UNAM mexicana y la portuguesa Universidad Nova de Lisboa (UNL).

Como en el análisis de las redes internacionales de colaboración, y con el fin de dar cuenta de la relación entre el volumen de publicaciones de una institución y sus vinculaciones, la Figura 6.33 presenta la distribución de las quince instituciones iberoamericanas más productivas (los datos para la totalidad de las instituciones observadas en este apartado se presentan en el Cuadro 6.3) en un plano definido por la cantidad de artículos publicados en SCI durante 2008 en el eje x y el grado normalizado (calculado como la cantidad de relaciones que tiene una institución, sobre el número total relaciones posibles si estuviera conectado con todo el resto de los participantes) de cada nodo en el eje y. Se ha trazado también una línea de regresión para poder observar la posición relativa de cada uno con respecto al conjunto.

La USP brasileña, la institución con mayor producción a nivel regional, tiene una centralidad medida mediante el grado normalizado que la sitúa bajo la línea de regresión. El CSIC español, en cambio, aunque cuenta con un volumen de artículos menor, presenta la mayor centralidad de Iberoamérica, dando cuenta de sus fuertes relaciones científicas con los demás países de la región en el campo de la biotecnología.

Otras instituciones se destacan por la significativa diversidad de sus vínculos regionales en relación con el volumen de su producción: el CONICET argentino, las españolas Universidad de Barcelona y Universidad Autónoma de Barcelona,

Figura 6.33: Cantidad de publicaciones y grado normalizado (2008)



y las brasileñas Universidad Federal de Río de Janeiro y Universidad Estadual de Campinas.

Por el contrario, la institución que menos vinculaciones presenta en la red de las quince más productivas en biotecnología es la argentina UBA. Otros casos institucionales de escasa vinculación regional son la mexicana UNAM, las brasileña Universidad Federal de Minas Gerais y Fundación FIOCRUZ, y la portuguesa Universidad de Porto.

6.2.6. La composición disciplinar de la biotecnología

La biotecnología es un campo de una importante interdisciplinariedad, siendo un ejemplo clásico de la ruptura de las divisiones temáticas tradicionales. En la biotecnología, las capacidades existentes en diferentes disciplinas -pertenecientes por ejemplo a la biología y la química, pero también a la ingeniería y la medicina- se entrelazan con la mirada puesta en la solución de problemas complejos y transversales a la ciencia.

Esas capacidades específicas en diferentes disciplinas le dan a la investigación biotecnológica enfoques particulares en cada grupo de investigación, institución o país. En ese sentido, contar con un mapa que dé cuenta de la manera en que esas relaciones disciplinarias se articulan permite obtener un panorama de las tendencias globales de la investigación, pero también de los enfoques particulares a nivel nacional dentro de la región o a nivel general dentro del espacio iberoamericano del conocimiento.

Para la construcción de estos mapas, o redes de disciplinas, es posible valerse de las citas a otros documentos que los autores incluyen en sus trabajos científicos, ya que de ellas puede inferirse el marco de referencia temático sobre el que se centra cada artículo. Al mismo tiempo, es posible determinar la disciplina de los trabajos citados, ya que pertenecen también a revistas indexadas en SCI,

Cuadro 6.3: Publicaciones y grado normalizado de la red institucional

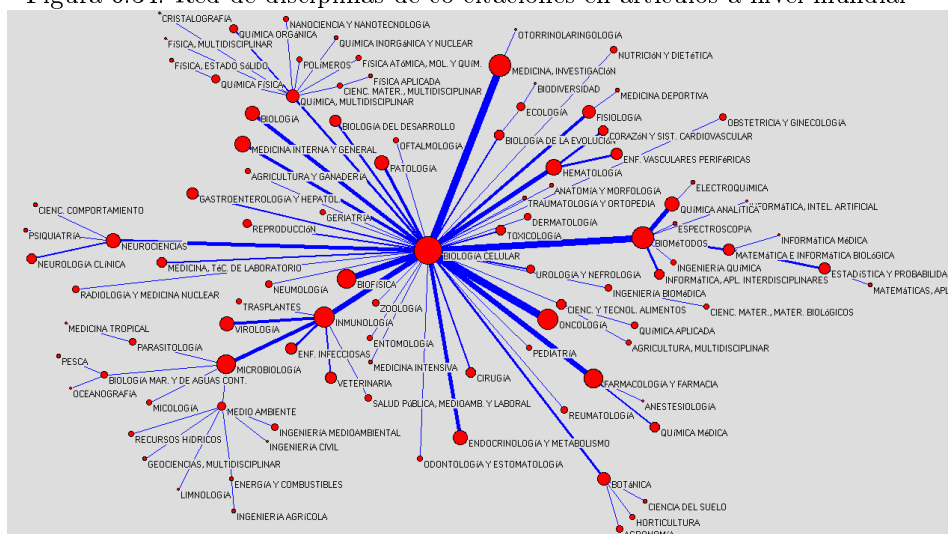
Instituciones	Cantidad de publicaciones	Grado normalizado
UNIV SAO PAULO-BR	386	0,50
CSIC-ES	281	0,63
CONICET-AR	204	0,54
UNIV BARCELONA-ES	163	0,54
UNIV NACL AUTONOMA MEXICO-MX	122	0,25
UNIV AUTONOMA BARCELONA-ES	106	0,42
UNIV FED MINAS GERAIS-BR	101	0,25
UNIV FED RIO GRANDE DO SUL-BR	101	0,33
UNIV FED SAO PAULO-BR	101	0,33
UNIV FED RIO DE JANEIRO-BR	98	0,38
UNIV PORTO-PT	97	0,25
UNIV ESTADUAL CAMPINAS-BR	96	0,33
FIOCRUZ-BR	95	0,25
UNIV AUTONOMA MADRID-ES	93	0,33
UNIV BUENOS AIRES-AR	75	0,17
UNIV VALENCIA-ES	70	0,25
UNIV GRANADA-ES	67	0,21
INST SALUD CARLOS III-ES	66	0,50
UNIV NAVARRA-ES	66	0,17
UNIV SANTIAGO DE COMPOSTELA-ES	62	0,21
UNIV COMPLUTENSE MADRID-ES	57	0,25
UNIV ESTADUAL PAULISTA-BR	52	0,17
HOSP CLIN BARCELONA-ES	51	0,33
UNIV MINHO-PT	45	0,17
UNIV NOVA LISBOA-PT	43	0,17

y que por lo tanto cuentan también con disciplinas asignadas. Por ejemplo, si un autor cita en un mismo trabajo artículos de biología celular y de inmunología, es posible asumir que se trata de disciplinas vinculadas en la investigación contenida en el trabajo analizado.

La Figura 6.34 presenta la red de disciplinas científicas emergente de las co-citaciones para el total de los artículos en biotecnología publicados en el mundo en 2008. El volumen de los nodos representa la cantidad de citas recibidas por

cada disciplina y la intensidad de los lazos da cuenta de las veces en que esas disciplinas han sido citadas a la vez en los artículos recopilados. Para una mejor visualización y análisis, se ha recurrido una vez más a las técnicas de poda utilizadas en las redes de países presentadas anteriormente. Al mismo tiempo, para hacer posible la visualización, en todas las redes de disciplinas presentadas en este estudio, se presentan sólo el centenar de disciplinas con mayor frecuencia de citas en cada caso.

Figura 6.34: Red de disciplinas de co-citaciones en artículos a nivel mundial



Fundamentalmente en términos de la gran cantidad de citas que reciben, pero también, en varios casos, de la fuerte intensidad de las relaciones existentes entre ellas, se destacan fuertemente doce disciplinas: Biología celular (37.561 citas), Biométodos (22.020), Medicina e Investigación (21.927), Oncología (20.953), Inmunología (19.135), Microbiología (17.312), Biofísica (16.906), Farmacología y Farmacia (16.704), Hematología (13.222), Medicina interna y general (12.191), Biología (10.910), y Química analítica (10.543).

La Biología Celular es la disciplina encargada del estudio de las células en cuanto a sus propiedades, estructura, funciones, orgánulos que contienen, su interacción con el ambiente y su ciclo vital. En la actualidad, las diversas disciplinas de las investigaciones científicas en ciencias biológicas y biomédicas, entre otras, son estudiadas en su mayoría a través de técnicas de biología celular gracias a los avances y las posibilidades que estas metodologías permiten. Este hecho explica por qué es la disciplina con más citas y funciona como núcleo central del entramado general. Ella presenta fuertes relaciones directas con diez de las once importantes disciplinas antes mencionadas; en orden decreciente, se trata de: Oncología, Medicina e Investigación, Biométodos, Biofísica, Inmunología, Farmacología y Farmacia, Hematología, Biología, Microbiología, y Medicina interna y general. A su vez, esta disciplina troncal está vinculada con varias áreas más pequeñas: Neurociencias (y a través de ella, con Neurología clínica, Psiquiatría, y Ciencias del comportamiento), Endocrinología y Metabolismo, Patología, y Fisiología (y a través de ella, con Medicina deportiva), entre otras.

Se destacan, además, tres bloques temáticos que mantienen estrechas relaciones directas con Biología celular y presentan estructuras fuertemente ramificadas. El primero de esos bloques está liderado por otras dos importantes disciplinas antes referidas: Inmunología y Microbiología, fuertemente conectadas entre sí. Inmunología mantiene, a su vez, relaciones radiales con otras cinco disciplinas: Virología; Enfermedades infecciosas; Veterinaria; Salud pública, medioambiental y laboral; y Trasplantes, en orden decreciente de citaciones recibidas. Microbiología se vincula con otras catorce áreas: Medio ambiente (y a través de ella, con Ingeniería medioambiental, Recursos hídricos, Energía y combustibles, Ingeniería agrícola, Geociencias multidisciplinar, Limnología, e Ingeniería civil), Biología marina y de aguas continentales (y a través de ella, con Pesca, y Oceanografía), Parasitología (a su vez relacionada con Medicina tropical) y Micología, también en orden decreciente de citaciones recibidas.

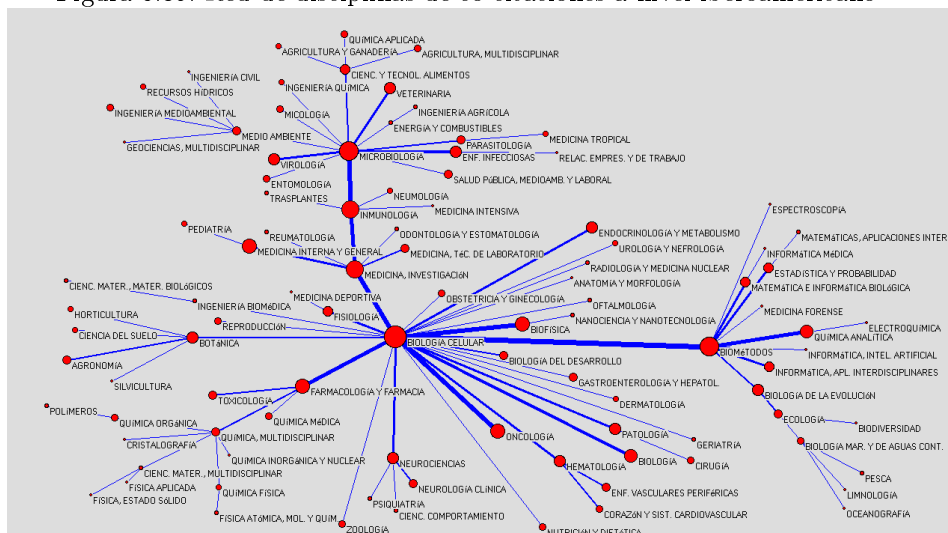
Un segundo bloque temático directamente articulado a la disciplina troncal de la producción científica en biotecnología del mundo se organiza alrededor de Biométodos. Esta disciplina tiene estrechas relaciones, a su vez, con diez áreas: Química analítica (conectada por su parte con Electroquímica), Matemática e Informática biológica (articulada con disciplinas conexas tales como Estadística y Probabilidad, Matemática aplicada, e Informática médica), Aplicaciones interdisciplinares de la Informática, Ingeniería química, Inteligencia artificial informática, y Espectroscopía.

Finalmente, es posible distinguir un tercer bloque temático directamente vinculado a Biología celular y articulado alrededor de Química multidisciplinar, con vínculos casi en su totalidad de tipo radial con once áreas pequeñas. En orden decreciente de citaciones recibidas, ellas son: Química orgánica; Química física (a su vez conectada con Física del estado sólido); Ciencia de los materiales multidisciplinar (a su vez articulada con Física aplicada); Polímeros; Nanociencia y nanotecnología; Física atómica, molecular y química; Química inorgánica y nuclear; Cristalografía; y Física multidisciplinar.

En la Figura 6.35 se presenta la red de disciplinas científicas emergente de las co-citaciones para los artículos en biotecnología del conjunto de Iberoamérica publicados en 2008. Se trata de una red temática muy similar a la del total mundial, tanto por las disciplinas referenciadas (casi en su totalidad las más importantes en la red mundial) como por su estructura básica de nodos centrales y de interrelaciones entre las diferentes disciplinas, aunque con algunas diferencias analíticamente interesantes en sus ramificaciones que podrían estar mostrando, como se verá, cierta especificidad regional en materia de especialización temática.

Las disciplinas principales en la red iberoamericana son, siguiendo la tendencia internacional, en primer lugar Biología celular (2.469 citas), en el segundo Microbiología (1.899, séptima en la red mundial), en el tercero Biométodos (1.863, segunda en la red mundial), en el cuarto lugar Inmunología (1.577, quinta en la red mundial), en el quinto Medicina e Investigación (1.555), en el sexto Oncología (1.166), en el séptimo Biofísica (1.129), en el octavo Farmacología y Farmacia (1.127), en el noveno Medicina interna y general (1.004, décima en la red mundial), en el décimo Química analítica (873, duodécima en la red mundial) y en el undécimo Biología (10.910). La única disciplina divergente entre las doce primeras es la que ocupa el duodécimo lugar en la red iberoamericana,

Figura 6.35: Red de disciplinas de co-citaciones a nivel iberoamericano



Virología (783, décimo sexta en la red mundial).

De modo similar a la red emergente para el total mundial pero mostrando algunas diferencias, en el entramado iberoamericano es posible delimitar tres importantes bloques temáticos directa y estrechamente relacionados con el área de Biología celular:

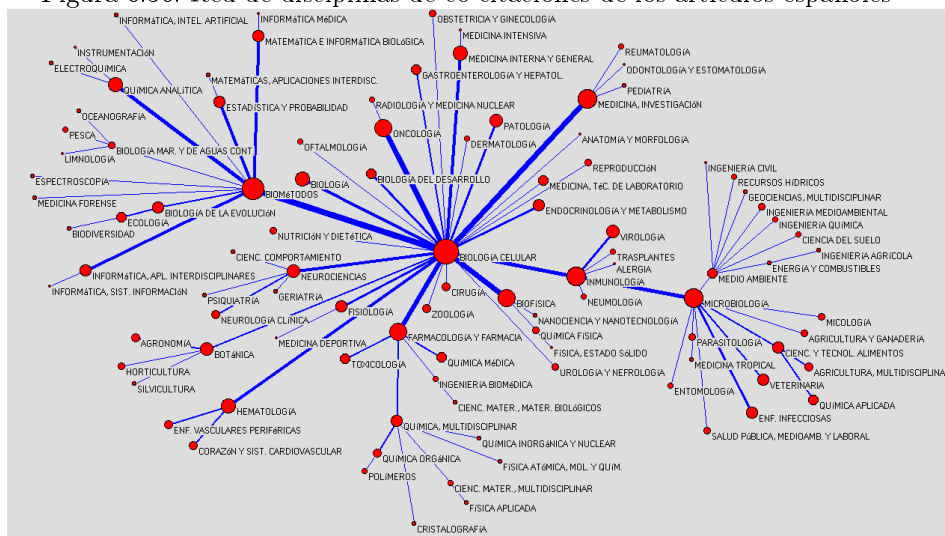
- Un bloque temático fuertemente conectado entre sí que está conformado fundamentalmente por la dupla Inmunología-Microbiología, en este caso ligado a Biología celular a través de Medicina e Investigación y que, a su vez, resulta la subred de disciplinas con mayores ramificaciones (y la que más disciplinas interrelaciona, 32 de las 98 presentes en la región)
- Otro articulado alrededor de Biométodos, la segunda disciplina en términos cuantitativos
- Un tercer bloque temático organizado alrededor del área de Química multidisciplinar, que en este caso se articula a la disciplina troncal a través de Farmacología y Farmacia

Además de las diferencias entre la estructura de citaciones de los artículos iberoamericanos y la red emergente del total mundial de publicaciones señaladas, también cabe destacar que en la producción científica en biotecnología de Iberoamérica en 2008, Ciencia y tecnología de los alimentos (529 citas) (y a través de ella, Química aplicada, Agricultura multidisciplinar, y Agricultura y ganadería) está relacionada con Microbiología, a diferencia de la red mundial en la que aparece conectada directamente con Biología celular. Por otro lado, la Biología marina y de aguas continentales (239 citas) está articulada en forma directa a Ecología (y, en forma indirecta, a Biología de la evolución y a Biométodos) en la red iberoamericana, mientras en la red mundial aparece directamente relacionada con Microbiología.

Las Figuras 6.36 a 6.40 presentan las redes temáticas actuales correspondientes a los cinco principales países de Iberoamérica en materia de producción científica en biotecnología. En los cinco casos se observan grandes similitudes con la red emergente para el conjunto regional, tanto en términos de presencia de las disciplinas con más citas en la red iberoamericana, como de la estructura básica de nodos principales e interrelaciones. Sin embargo, y a partir de una comparación más detallada, también es posible identificar algunas particularidades locales. También cabe advertir que en aquellos países con menor volumen de producción científica relativa (México, Portugal y Argentina) algunas asociaciones temáticas entre disciplinas de escaso volumen son el resultado de muy pocas publicaciones (o inclusive, de una sola), por lo que no serán tenidas en cuenta en el análisis.

En la Figura 6.36 se muestra la red temática resultante de las co-citaciones correspondientes a los artículos españoles en biotecnología en 2008. Como es lógico, dado el peso de la producción española en el total regional, su composición temática y estructura de nodos centrales resultan casi idénticas a las observadas en la red del conjunto de Iberoamérica, pero con algunas pequeñas diferencias que la acercan a la red del total mundial.

Figura 6.36: Red de disciplinas de co-citaciones de los artículos españoles

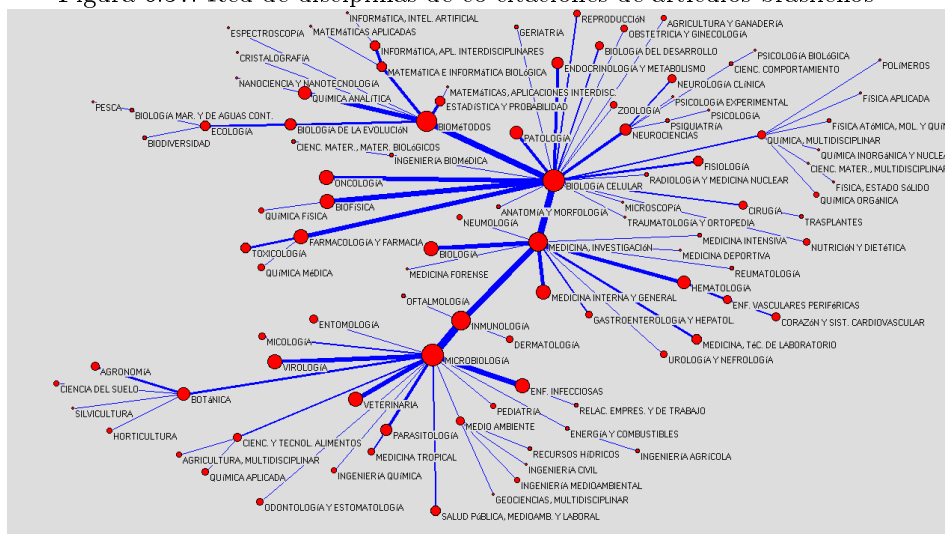


Entre tales diferencias cabe destacar que Virología aparece fuertemente conectada a Inmunología, siguiendo el patrón mundial y marcando una divergencia con la red del conjunto iberoamericano (donde está vinculada directamente con Microbiología). Además, Biología marina y de aguas continentales (articuladora a su vez de Pesca, Oceanografía y Limnología) está, al igual que en la red iberoamericana, vinculada al gran bloque temático de Biométodos, pero en la red española lo hace en forma directa con este bloque sin las mediaciones de Ecología ni de Biología de la evolución. Finalmente, las disciplinas y sub-disciplinas Ingeniería química, Energía y combustibles, y Ciencia del suelo, aparecen participando de la subred temática conformada alrededor de Medio ambiente, en lugar de articularse a Microbiología las dos primeras y a Botánica la tercera,

como es el caso en la red general de Iberoamérica.

La Figura 6.37 presenta la red de disciplinas elaborada a partir de las co-citaciones realizadas por los artículos brasileños en biotecnología publicados en 2008. En este caso, se observa una red temática compleja y fuertemente diversificada, y cuya estructura básica resulta también muy similar a la del total iberoamericano.

Figura 6.37: Red de disciplinas de co-citaciones de artículos brasileños



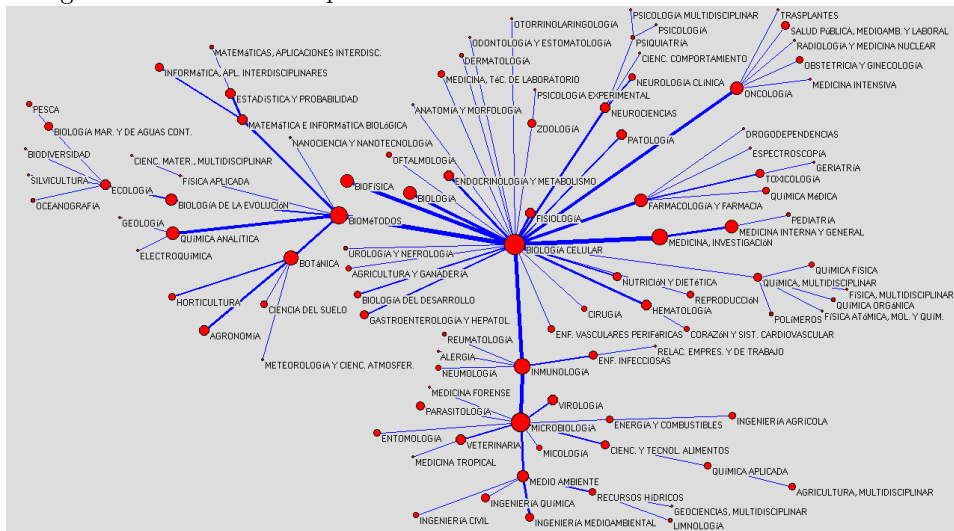
Con todo, pueden señalarse algunas pequeñas diferencias. La primera es que, conectada a Medicina e Investigación aparece citada en los artículos brasileños una disciplina científica que en la red correspondiente al total iberoamericano de artículos está vinculada directamente con Biología celular: Hematología (y a través de ella, Enfermedades vasculares periféricas, y Corazón y sistema cardiovascular). La segunda diferencia reside en que Farmacología y Farmacia (y, a través de ella, Toxicología y Química médica) está exclusivamente conectada con Biología celular, cuando en la red iberoamericana lo está con Química multidisciplinaria y sus ramificaciones. La tercera diferencia es que Botánica (y, a través de ella, Agronomía, Ciencia del suelo, Horticultura, y Silvicultura), conectada directamente con Biología celular en la red del total iberoamericano, aparece articulada a Microbiología y mediada por Inmunología en sus articulaciones con Biología celular en el caso brasileño.

Por último, se observa que, a partir de Neurociencias en el caso de la red confeccionada en base a las citaciones de los investigadores brasileños se observa, además de la presencia de Neurología clínica, Psiquiatría, y Ciencias del comportamiento (ya registradas en la red iberoamericana), la aparición de otras pequeñas ramificaciones del árbol a partir de las articulaciones con Psicología, Psicología biológica, y Psicología experimental.

En la Figura 6.38 se expone la red de disciplinas emergente de las co-citaciones realizadas por los artículos mexicanos en biotecnología en 2008, que presenta una estructura básica similar a la del total iberoamericano, tanto en cuanto a

las principales disciplinas que articula como a las ramificaciones en los nodos que concentran la mayor cantidad de citas.

Figura 6.38: Red de disciplinas de co-citaciones de los artículos mexicanos

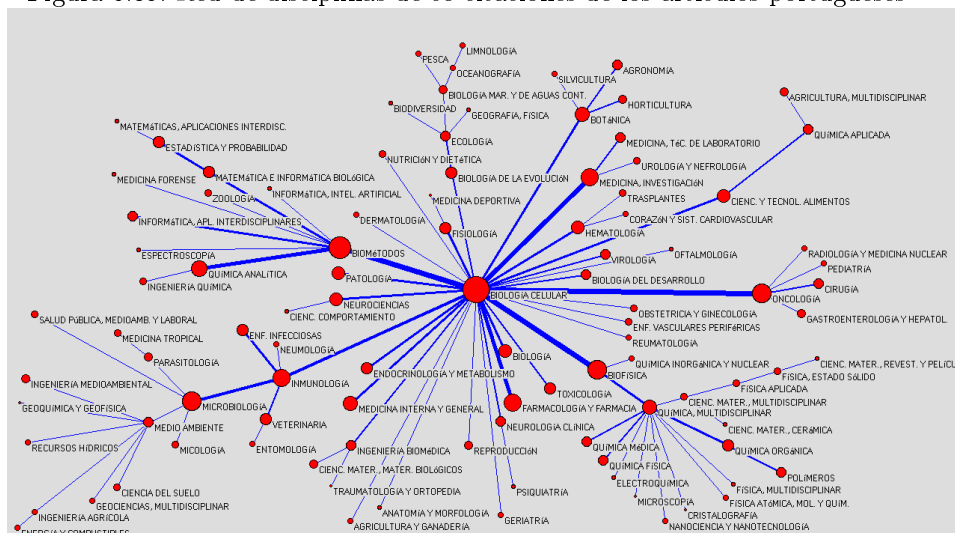


Sólo se observan pequeñas diferencias en las articulaciones entre algunas de las disciplinas y sub-disciplinas científicas de esta red. Entre ellas, cabe señalar que Oceanografía y Silvicultura aparecen articuladas a la subred temática conformada alrededor de Ecología (en lugar de relacionarse con Biología marina y de aguas continentales, o con Botánica, tal como sucede en la red general de Iberoamérica), que Botánica aparece directamente ligada a Biométodos (en lugar de la Biología celular), que aparecen Geología y Meteorología y ciencias atmosféricas (articuladas respectivamente a Química analítica y a Botánica) y que Oncología presenta ramificaciones ausentes en la red iberoamericana (Salud pública, medioambiental y laboral; Obstetricia y ginecología; Transplantes; Radiología y medicina nuclear; y Medicina intensiva).

La Figura 6.39 muestra la red de disciplinas emergente de las co-citaciones realizadas por los artículos portugueses en biotecnología de 2008, con una estructura básica bastante parecida en términos generales a la del total iberoamericano especialmente en cuanto a las disciplinas y sub-disciplinas que articula.

Un conjunto de pequeñas diferencias con ella puede, no obstante, marcarse. La primera, que el bloque temático articulado alrededor de Biología de la evolución, Ecología, y Biología marina y de aguas continentales, no se vincula indirectamente a Biología celular a través de Biométodos, sino que en la red portuguesa ella está directamente relacionada con la disciplina troncal. La segunda diferencia a destacar está dada por la ausencia de Medicina e Investigación en las articulaciones entre Biología celular, Inmunología y Microbiología. La tercera, por las ramificaciones observadas a partir de Oncología (en una situación que recuerda a la de la red mexicana): es el caso de las áreas de Cirugía, Gastroenterología y Hepatología, Radiología y medicina nuclear, y Pediatría. Finalmente, se observa una fuerte diversificación de las áreas articuladas a Química multidisciplinar (además, vinculada con Biología celular a través de Biofísica), que

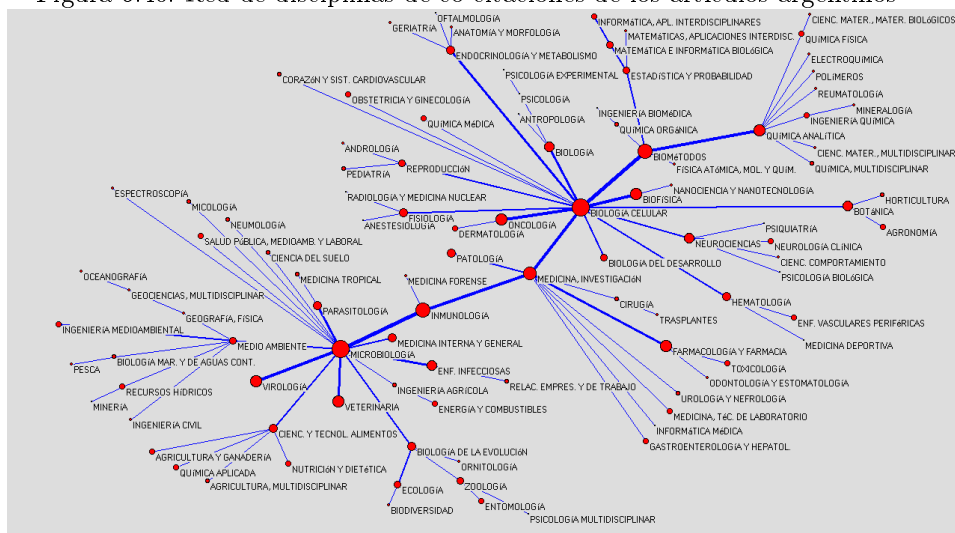
Figura 6.39: Red de disciplinas de co-citaciones de los artículos portugueses



aglutina unas dieciséis disciplinas y sub-disciplinas relacionadas con química, física, ciencia de los materiales, nanociencias y nanotecnología, entre otras.

Para concluir con esta sección, en la Figura 6.40 se presenta la red de disciplinas científicas construida a partir de las co-citaciones para los artículos en biotecnología publicados por investigadores argentinos en 2008.

Figura 6.40: Red de disciplinas de co-citaciones de los artículos argentinos



Su tamaño, en términos de cantidad de nodos, es prácticamente igual al de la red correspondiente al total iberoamericano. Las conexiones más fuertes se producen entre las mismas disciplinas de mayor peso, esto es, de Biología celular con Medicina e Investigación, Inmunología, Microbiología, Biométodos, Farmacología y

Farmacología, y Química analítica. Las principales diferencias con la red iberoamericana se encuentran, nuevamente, en la posición de algunas áreas, como es el caso de Farmacología y Farmacia, que está vinculada a Medicina e Investigación (en lugar de a Biología celular); y en la mayor ramificación relativa de algunas disciplinas y sub-disciplinas científicas, como es el caso de Química analítica en la red argentina (que aparece directamente conectada con Ingeniería Química –y, a través de ella, con Mineralogía-, Ciencia de los materiales multidisciplinar, Química multidisciplinar, Reumatología, Polímeros, Electroquímica, Química física –y, a través de ella, Ciencia de los materiales y materiales biológicos-).

Cabe destacar que Microbiología ocupa un muy importante papel en la red de producción científica en biotecnología de Argentina, en tanto presenta la mayor cantidad de ramificaciones entre las treinta y ocho disciplinas y sub-disciplinas científicas que agrupa. Se observan varias ramas fundamentales de este árbol temático, organizadas fundamentalmente alrededor de Ciencia y tecnología de los alimentos, Biología de la evolución, Medio ambiente, Enfermedades infecciosas y otras áreas y sub-áreas pertenecientes a los campos de la salud y a las tecnologías o ingenierías.

6.3. Desarrollo tecnológico en biotecnología

Mientras que las publicaciones ofrecen un panorama detallado de los patrones y tendencias en investigación en el campo de la biotecnología, las patentes de invención posibilitan un análisis equivalente enfocado en el desarrollo tecnológico. Se trata, sin embargo, de una fuente de información que debe ser manejada con ciertos cuidados.

El patentamiento es, en las empresas de base tecnológica, una herramienta que no sólo sirve para proteger los resultados de la I+D, sino también un elemento importante de sus estrategias comerciales. La decisión de patentar o no una invención, dónde hacerlo y bajo la titularidad de quién, son cuestiones relacionadas con las características de los mercados, el potencial económico del invento, pero también la situación de los competidores. En algunos casos, las empresas optan por el secreto industrial como forma de protección o presentan sus solicitudes bajo la titularidad de subsidiarias, con el objetivo de valorizarlas o de no hacer evidentes sus estrategias a los competidores.

Estos comportamientos son particularmente importantes en el campo de la biotecnología, caracterizada por una fuerte competencia, la presencia de empresas de gran envergadura y dinamismo, un importante potencial económico y un marco legal que varía considerablemente entre países. Por ese motivo, en este campo es conveniente obtener un primer panorama a partir de la observación complementaria de diversas bases de datos. Para ello, se han tomado en este caso las tres principales fuentes para el estudio de patentes a nivel mundial, y que dan cuenta de las características de la protección industrial en los mercados más importantes del mundo.

La primera de ellas es la base de datos de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO, según su sigla en inglés), que ofrece los documentos registrados mediante el Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT,

también según su sigla en inglés). La solicitud y el mantenimiento de patentes internacionales registradas mediante el tratado PCT son costosos en términos económicos y de gestión, en particular para los países de menor desarrollo relativo de Iberoamérica, por lo que sólo suelen registrarse allí los inventos con un potencial económico o estratégico importante. La selección y priorización de esta fuente a lo largo del presente análisis se basó en ese criterio de calidad, de modo de relevar con la mayor precisión posible los avances tecnológicos de punta a nivel mundial, teniendo a la vez menos sesgos que otras fuentes para una comparación regional.

Las otras dos fuentes que se han consultado son la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos (USPTO) y la Oficina Europea de Patentes (EPO). La primera de estas fuentes está directamente relacionada con la comercialización de productos en el mercado norteamericano, que resulta por ello una meta fundamental para quienes ofrecen productos innovadores en este campo. La segunda fuente brinda una valiosa mirada del desarrollo tecnológico en el contexto de la Unión Europea como región, en particular de aquellas invenciones que por su potencial económico buscan ser registradas como patentes y explotadas de manera simultánea en la totalidad de los países europeos.

6.3.1. Evolución del patentamiento en biotecnología

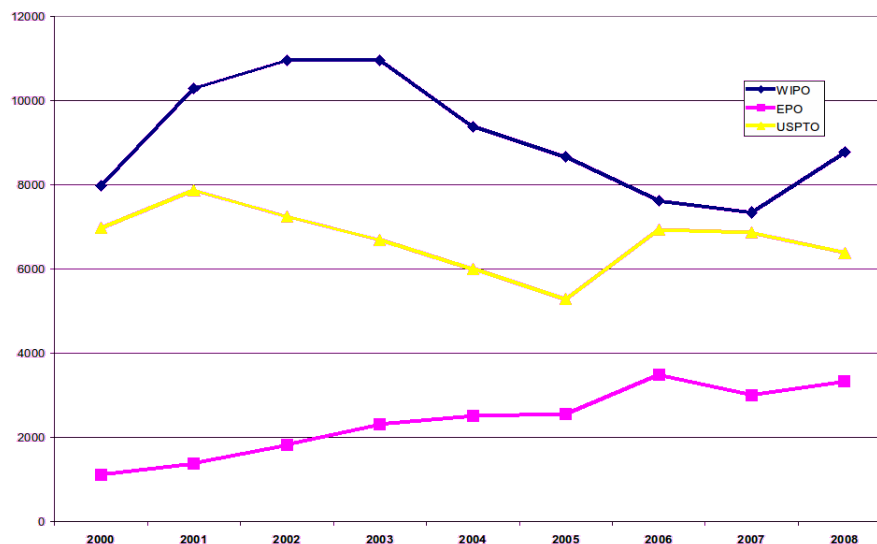
Como se puede observar en la Figura 6.41, de acuerdo a WIPO se trata de un campo que luego del importante crecimiento registrado durante el bienio 2000-2001 (cuando pasó de 7.989 a 10.287 patentes, un incremento del 29 % en apenas dos años) y mantenerse estable durante 2002, a partir del año siguiente empieza una caída tan constante como pronunciada. Hacia el año 2006 se registran, incluso, valores inferiores a los de inicio de la serie, para concluir en 2007 con una cifra aún menor. Sin embargo, en el último año de la serie la tendencia se revierte llamativamente, pasando a la publicación de 8.763 patentes y volviendo a valores similares a los de 2005.

En términos comparativos, los comportamientos observados a partir de las restantes fuentes de información, difieren de lo observado en WIPO. De acuerdo a la USPTO, luego de un crecimiento inicial se observa una caída constante hasta 2006, año en que se produce un fuerte aumento que se mantiene durante 2007. Finalmente, el volumen de patentes biotecnológicas otorgadas por la oficina estadounidense desciende levemente en 2008, aunque mantiene aún valores muy superiores a los de 2005.

De acuerdo a la EPO, en cambio, la tendencia es levemente creciente durante todo el período considerado (2000-2008). Cabe destacar que ambas fuentes de información registran un fuerte crecimiento del patentamiento en biotecnología hacia el año 2006, cuyos contenidos de especialización tecnológica serán explorados analíticamente en clave comparativa más adelante.

Si bien la búsqueda de documentos se ha realizado con criterios completamente homogéneos en todas las fuentes, siguiendo la definición de la OCDE basada en códigos de clasificación internacionales, la disparidad de comportamientos entre fuentes está relacionada con aspectos normativos y prácticos de protección de los desarrollos en biotecnología en los diferentes países y regiones.

Figura 6.41: Total de patentes otorgadas en biotecnología



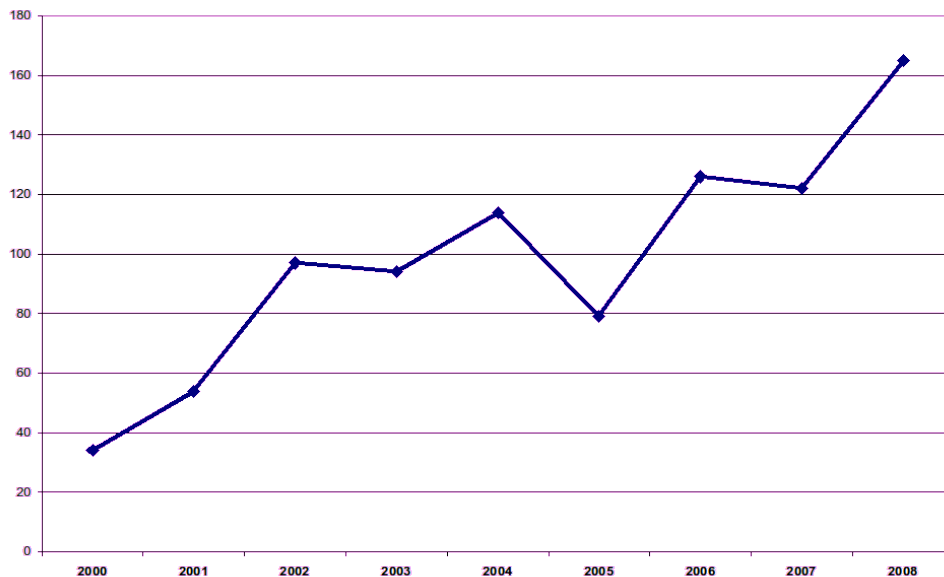
Si bien los requisitos objetivos para el otorgamiento de una patente de invención (esto es, novedad, altura inventiva y aplicación industrial) tienen una extensión universal, los criterios con los que cada uno de los países los evalúa difieren en la práctica. Pese a existir acuerdos internacionales que definen pautas comunes de verificación práctica de la existencia de los requisitos de patentabilidad en productos y procesos concretos, aún persiste la ausencia de un criterio homogéneo para caracterizar una invención y su diferencia con un descubrimiento. Mientras la primera es definida como toda creación humana que permita transformar materia o energía para su aprovechamiento por el hombre, el segundo implica el hallazgo de un nuevo conocimiento dado en la naturaleza. Esta discrepancia no es menor porque para el derecho de Estados Unidos el término invención se aplica tanto a las invenciones propiamente dichas como a los descubrimientos y, en consecuencia, ambas categorías pueden ser protegidas jurídicamente.

Como se puede observar, esta diferencia de definiciones engrosa de manera relevante los índices de patentes en favor de ese país con criterios de protección más amplios y flexibles respecto del alcance de la materia que puede ser objeto de la misma. La flexibilidad del sistema de patentes norteamericano radica principalmente en la laxitud con la que se aplica el criterio de actividad o altura inventiva, es decir, en la evaluación de la participación del ingenio humano en el resultado, lo cual ha sido explícitamente habilitado por la Patent Reform Act hacia 2005. Esta modificación explica el marcado cambio de tendencia, fuertemente ascendente en 2006, verificado en la USPTO.

Mientras que el número total de patentes publicadas en la WIPO presenta altibajos, los documentos bajo titularidad de iberoamericanos presentan una tendencia al crecimiento casi constante, con un único descenso significativo en 2005 (Figura 6.42). La tendencia, por otra parte, muestra un crecimiento irregular en gran medida por el número relativamente bajo de patentes identificadas en este campo. A pesar de ello, el crecimiento es muy significativo, pasando de

34 documentos publicados por la WIPO en 2000 a 165 en 2008, marcando un aumento del 385 %.

Figura 6.42: Patentes de titulares iberoamericanos en biotecnología en WIPO



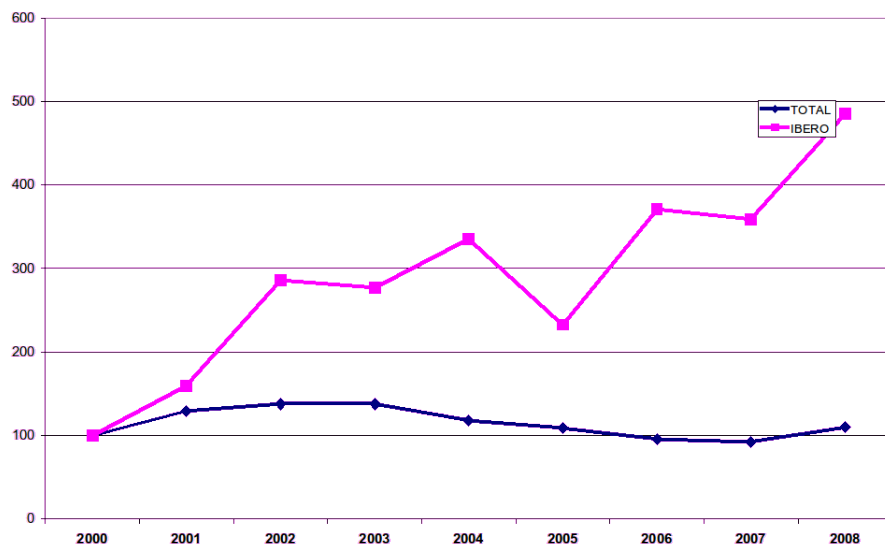
Estos valores dan cuenta del ingreso de los países iberoamericanos en el desarrollo tecnológico en biotecnología durante el período estudiado y que ha alcanzado un dinamismo importante, aunque siempre con un volumen claramente limitado. Al mismo tiempo, ese destacado impulso observado desde 2000 no queda exento de las tendencias generales del patentamiento a nivel mundial.

La Figura 6.43 ofrece una descripción de las tendencias comparadas del total de patentes biotecnológicas a nivel mundial y de las producidas en el marco del espacio iberoamericano, tomando como base el año 2000. Esta forma de representación iguala los valores al primer año, para trazar a partir de allí su variación anual con respecto al año anterior. De esta manera es posible comparar las tendencias en la evolución de variables con volúmenes muy distintos.

Es posible notar cómo la fuerte pendiente positiva iberoamericana observada hasta el año 2002 se da en un contexto de expansión internacional en el campo de la biotecnología. Los años posteriores, en los que el patentamiento total en el área desciende, presentan una desaceleración a nivel regional, con una caída significativa en 2005. De la misma manera, la recuperación mundial del patentamiento biotecnológico en la WIPO registrada en el último año, tiene un impacto significativo en la producción tecnológica iberoamericana.

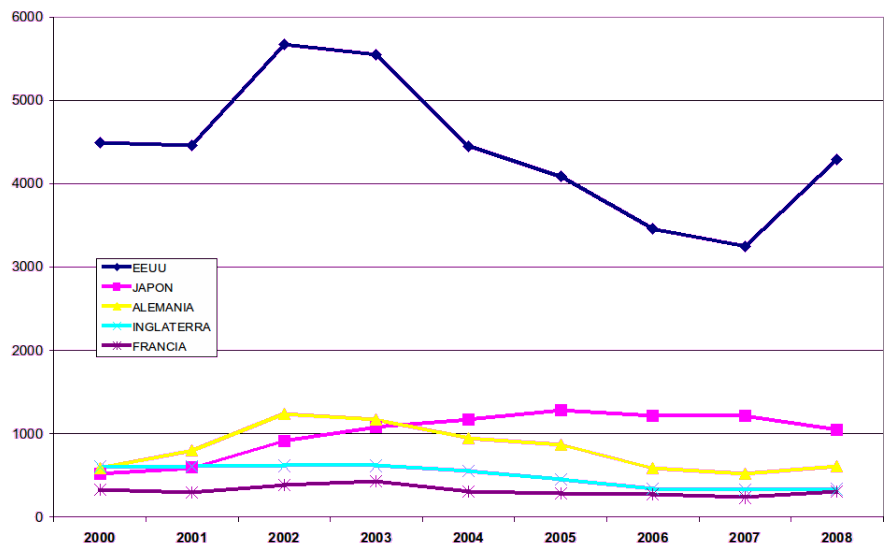
Al analizar, nuevamente a partir de los datos de la WIPO, los países más importantes en materia de desarrollo tecnológico en el campo de la biotecnología, resulta claro que el primer lugar lo ocupa Estados Unidos por un amplio margen. Con participación en la titularidad de 39.708 registros, ese país reúne el 48 % de las patentes totales consideradas en este estudio. La Figura 6.44 presenta la evolución, entre 2000 y 2008, de las patentes registradas por los seis países con

Figura 6.43: Patentes biotecnológicas y total de titulares iberoamericanos (WIPO)



mayor frecuencia acumulada durante el período, de acuerdo a la nacionalidad de uno o todos sus titulares.

Figura 6.44: Patentes en biotecnología publicadas en WIPO según país del titular



Dado el amplio volumen de patentamiento estadounidense, su evolución durante el período considerado guarda una gran similitud con la del total mundial. Cabe señalar, sin embargo, que difiere de ella en que su crecimiento se concentra en el año 2001 y la caída, pronunciada y constante como la observada para el total

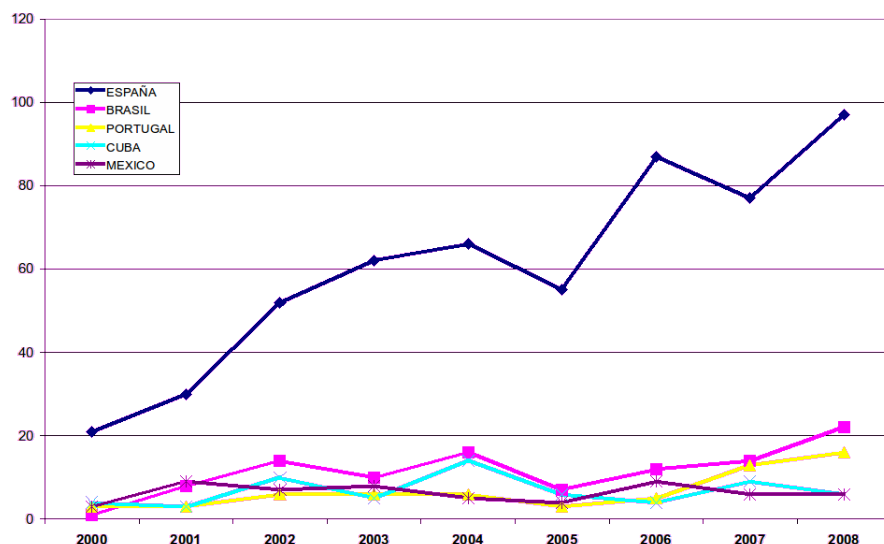
general, comienza un año antes. Al mismo tiempo, sus titulares son responsables en gran medida de la espectacular recuperación del campo en 2008.

Los siguientes cuatro países que encabezan el ranking mundial del patentamiento en este campo lo completan Japón, Alemania, Inglaterra y Francia, en ese orden. Sin embargo, como se señaló anteriormente, todos ellos tienen un volumen de patentes obtenidas notoriamente menores al que posee Estados Unidos y mayor estabilidad en la evolución de su número de patentes durante el período de referencia. Constituyen excepciones a esta observación Alemania (que sostiene un ritmo relativo de crecimiento durante 2000-2002) y fundamentalmente Japón que, contrariamente al resto de los países líderes, aumenta lenta pero sostenidamente sus patentes en biotecnología hasta 2007, para luego descender su volumen en 2008, nuevamente contra la tendencia general.

Más allá de las tendencias, los líderes mundiales en patentamiento en el área de la biotecnología son los mismos que en términos de publicaciones, con una excepción: China, país que aparece segundo en el recuento de publicaciones en esta temática, mientras que en cuanto a la titularidad de patentes aparece recién en el octavo lugar.

A nivel iberoamericano, mientras tanto, los cinco países con mayor presencia entre los titulares son España, Brasil, Portugal, Cuba y México (Figura 6.45). La presencia europea es muy significativa en este tipo de documentos, con una marcada supremacía española que está cerca de quintuplicar la cantidad de patentes anuales publicadas por la WIPO durante el período considerado, pasando de 21 patentes en 2000 a 97 en 2008. Portugal, en cambio, tiene una presencia menor pero destacada en relación a su tamaño, apareciendo en el tercer lugar, no lejos de Brasil.

Figura 6.45: Patentes en biotecnología publicadas en WIPO según país del titular



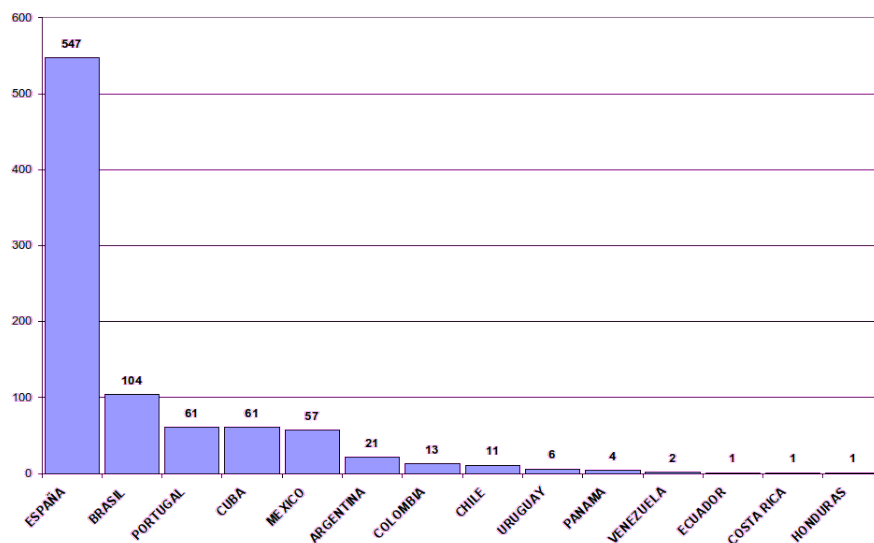
Los países latinoamericanos tienen una presencia mucho menor, que no se condice con su desempeño en otros indicadores de ciencia y tecnología, como las

publicaciones e incluso su esfuerzo en I+D. Brasil es el que presenta la titularidad del mayor número de documentos, y con un crecimiento sostenido desde 2005, aunque el volumen total de las patentes bajo su titularidad en el período es de poco más de cien.

México, por su parte, presenta una conducta muy estable, promediando durante todo el período apenas cinco patentes al año. Es llamativo el caso de Cuba, que presenta un desempeño muy bueno en la titularidad de patentes, superando a México en varios años y acercándose incluso a Brasil entre 2002 y 2005. Se trata de un área muy fuerte en la isla, con una fuerte orientación al patentamiento, que pone a este país en una posición mucho mejor en términos de documentos de propiedad industrial que de publicaciones científicas.

Otra de las características del patentamiento en el área de la biotecnología a nivel iberoamericano es su marcada concentración. La Figura 6.46 presenta el total de patentes publicadas por la WIPO, acumuladas en el período 2000-2008, bajo la titularidad de países de la región. España, con 547 registros, acumula más del 60 % del total regional, mientras que si se suman los cinco países de mayor presencia se cubre casi el 95 % del total iberoamericano.

Figura 6.46: Patentes en biotecnología publicadas en WIPO según país del titular

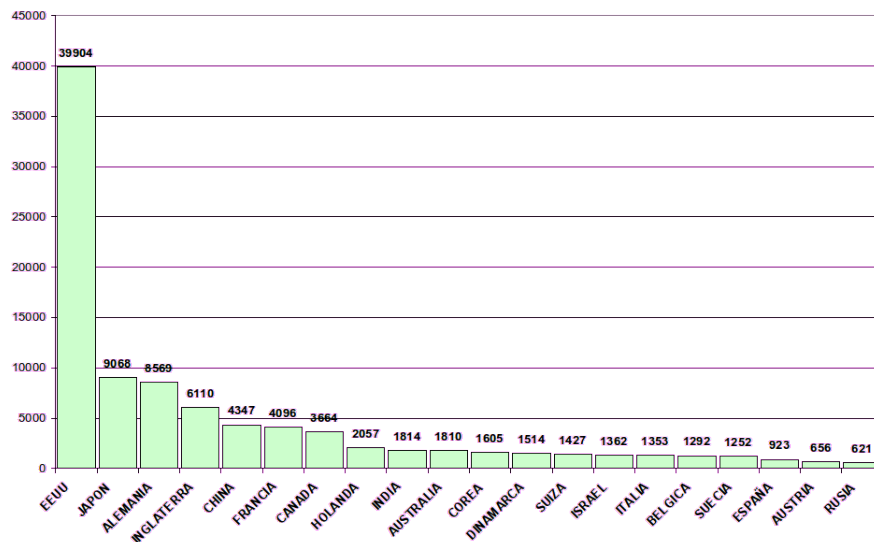


En los documentos de patente, además de la información referida a los titulares de cada invención –quienes tienen los derechos exclusivos de su explotación y licenciamiento- se cuenta con datos referidos a el o a los inventores que participaron de su concepción. Aunque sólo se trata de un reconocimiento al trabajo desarrollado, sin derechos de propiedad sobre la explotación comercial del invento, este dato informa acerca de la actividad de los tecnólogos de cada país en el campo bajo estudio, aunque ellos puedan tener lugar de trabajo dentro o fuera de su país de origen.

La Figura 6.47 muestra la cantidad de patentes publicadas por la WIPO entre 2000 y 2008 con presencia de inventores de cada país. Las tendencias no difieren

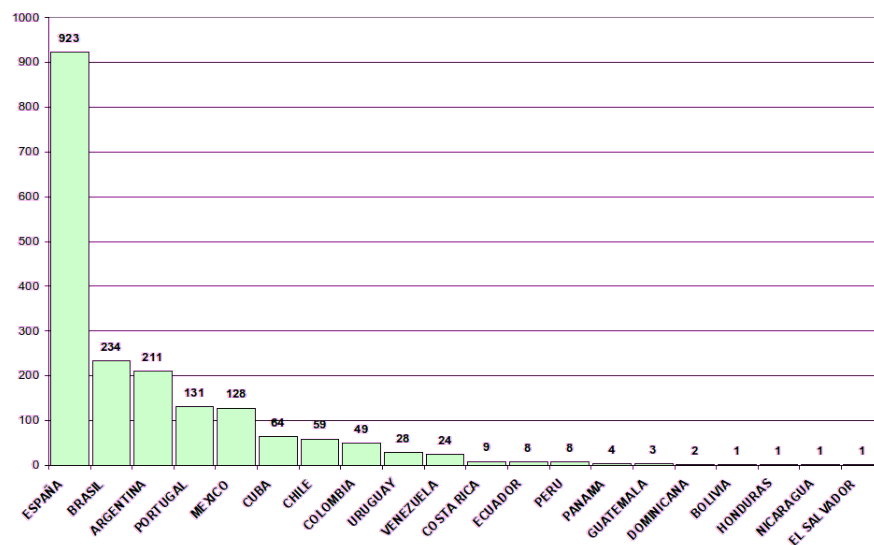
demasiado a lo que se puede observar en relación a la titularidad. La excepción más llamativa es la de China, que aparece en el quinto lugar del ranking mundial confeccionado a partir de la nacionalidad de los inventores, mientras que en el de titulares aparece en el octavo.

Figura 6.47: Patentes en biotecnología en WIPO según país del inventor



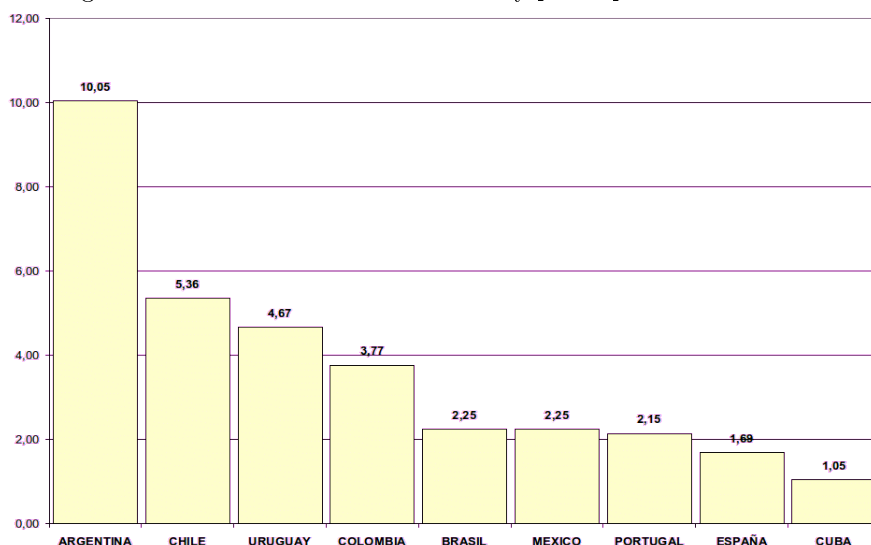
A nivel iberoamericano sucede algo parecido, como se aprecia en la Figura 6.48. En este caso, la excepción está dada por Argentina, que aparece en el sexto lugar de acuerdo a la cantidad de patentes de su titularidad, mientras que ocupa el tercero de acuerdo a la presencia de inventores de esa nacionalidad.

Figura 6.48: Patentes en biotecnología en WIPO según país del inventor



Esta información se aprecia más claramente en la Figura 6.49, que presenta la relación entre la titularidad y la participación entre los inventores de algunos países iberoamericanos seleccionados. Argentina aparece como un caso llamativo, con más de 10 patentes con inventores por cada una de su titularidad. Chile, en segundo lugar, tiene algo más de 5. Brasil, el país más desarrollado de América Latina, tiene 2.25 al igual que México.

Figura 6.49: Relación entre titularidad y participación de inventores



Los países ibéricos presentan relaciones aún más bajas, con 2.15 en el caso de Portugal y 1.69 en el caso de España. Cuba, en cambio, muestra una relación casi de 1 a 1, dando cuenta de que la presencia de investigadores cubanos en patentes extranjeras es casi nula.

Estos patrones diferenciados son interesantes de analizar. Por un lado, la escasa cantidad de patentes de la región -particularmente entre los latinoamericanos- da cuenta de un nivel de aplicación industrial restringido de la biotecnología. Al mismo tiempo, la participación de recursos humanos altamente capacitados de estos países en patentes de titularidad extranjera da cuenta de la existencia de capacidades tecnológicas generadas localmente.

En los países más desarrollados, como Estados Unidos o Japón, la relación entre inventores y titulares es casi de 1 a 1, mientras que en otros, como Alemania o Inglaterra, las diferencias son menores, en gran medida generadas por la presencia de más de un inventor en cada patente.

Posiblemente, los patrones observados sean una evidencia más de la debilidad del sector privado de base tecnológica de la mayoría de los países de Iberoamérica, y particularmente de América Latina, que expulsan investigadores altamente capacitados hacia países con mayor capacidad de absorción de conocimiento aplicado, reflejado en las patentes de invención.

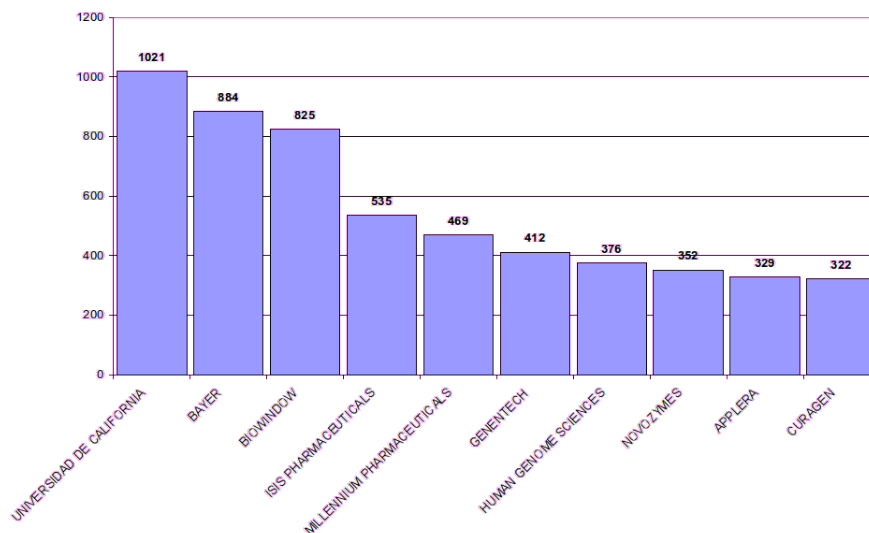
6.3.2. Principales titulares de patentes en biotecnología

La biotecnología es un terreno que se caracteriza por una marcada cercanía entre la investigación científica y la aplicación industrial. Se trata a la vez de un mercado altamente competitivo, principalmente en el ámbito farmacéutico, en el que intervienen grandes empresas multinacionales que invierten importantes sumas en I+D.

Por estos motivos, los principales titulares de patentes incluyen tanto instituciones de investigación como empresas privadas. Al mismo tiempo, el seguimiento de las empresas titulares de invenciones resulta una tarea compleja, dado que los documentos suelen registrarse a nombre de diferentes filiales, como parte de las estrategias empresariales. Este comportamiento tiene por objetivo tanto dificultar el seguimiento de las actividades de investigación por parte de la competencia como facilitar la comercialización de licencias, en un mercado en el que el comercio del conocimiento contenido en los registros de propiedad intelectual es de gran importancia económica.

Una evidencia de la importancia del sector académico en la industria biotecnológica se presenta en el listado de los principales titulares de patentes en biotecnología, acumuladas entre 2000 y 2008. El máximo titular de patentes es la Universidad de California, con un total de 1.021 patentes. El resto de los diez máximos titulares está integrado por empresas privadas, en su mayoría pertenecientes al sector farmacéutico (Figura 6.50).

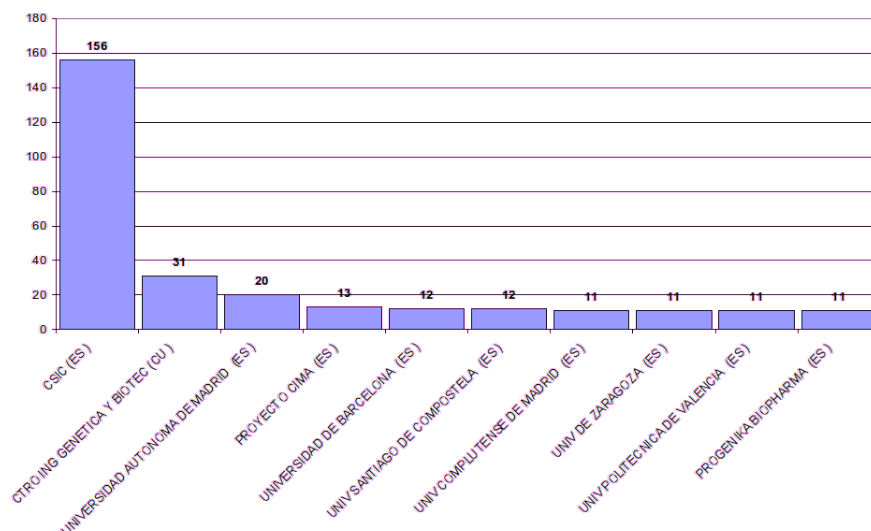
Figura 6.50: Principales titulares de patentes en biotecnología



En el segundo lugar aparece Bayer, con 884 títulos de su propiedad. El tercer lugar, muy cerca con 825 patentes, lo ocupa la empresa Biowindow, de origen chino. Con niveles de patentamiento acumulado entre 2000 y 2008 entre los 535 y los 468, aparecen las farmacéuticas Isis y Millenium. La lista se completa con las empresas Genentech, Human Genome Sciences, Novozymes, Applera y Curagen.

Un enfoque similar, sobre los países iberoamericanos, pone en claro patrones muy distintos y característicos de la región. En primer lugar, nueve de los diez principales titulares son españoles, mientras que el restante es de origen cubano. Al mismo tiempo, dentro de los titulares españoles, la diferencia del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) con el resto es abismal (Figura 6.51).

Figura 6.51: Principales titulares iberoamericanos de patentes en biotecnología



El CSIC cuenta con 156 patentes publicadas mediante el convenio PCT entre 2000 y 2008, mientras que el resto de las instituciones españolas rondan la docena de títulos acumulados en el mismo período. Se trata de universidades, entre las que se destaca la Universidad Autónoma de Madrid, con 20 registros y en el tercer lugar a nivel regional, seguida por el Proyecto Cima –titular de las patentes surgidas de la actividad de Centro de Investigación de Medicina Aplicada de la Universidad de Navarra– con 13 registros de propiedad industrial.

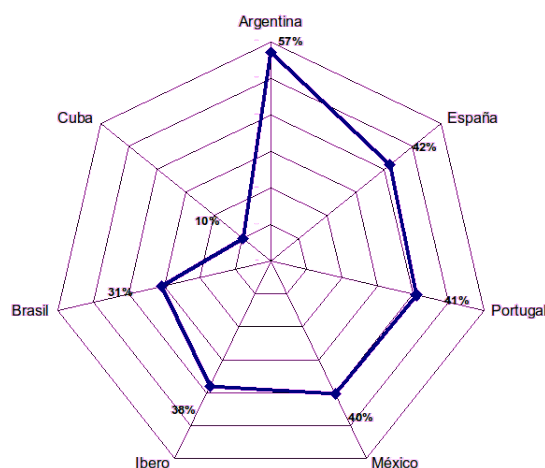
En segundo lugar se ubica una institución cubana, país con una marcada especialización en la biotecnología, en particular orientada al campo de la salud humana. Se trata del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, con 31 patentes publicadas dentro del convenio PCT.

Es de destacar también que entre los diez máximos titulares de patentes a nivel iberoamericano sólo se identifica una empresa del sector privado. Se trata de la española Progenika Biopharma, con once títulos de propiedad industrial acumulados entre 2000 y 2008.

La debilidad del sector privado en el área de biotecnología a nivel iberoamericano es una característica que puede apreciarse también en otros campos del desarrollo tecnológico. Esto se hace evidente, incluso a nivel general, en el mejor desempeño de la región en términos de publicaciones que de patentes, en comparación con los países más desarrollados. De hecho, como se puede observar en la Figura 6.52, tan sólo el 38 % de las patentes de titularidad iberoamericana

registradas en el convenio PCT entre 2000 y 2008 corresponden al sector privado, incluyendo también aquellos documentos presentados bajo el nombre de personas físicas.

Figura 6.52: Participación del sector privado en patentes de biotecnología



Sin embargo, la presencia de titulares del sector privado en las patentes - incluyendo aquellas que son registradas a nombre de personas particulares- es mayor que el promedio en los países ibéricos, más desarrollados que los latinoamericanos. España muestra presencia del sector privado en el 42 % de las patentes PCT registradas entre 2000 y 2008, mientras que en Portugal el mismo indicador alcanza el 41 %. En este último país, al igual que en España, los principales titulares son universidades. En primer lugar aparecen el Instituto Superior Técnico de la Universidad Técnica de Lisboa, con cinco patentes, y la Universidad de Minho, con la misma cantidad. Recién en el cuarto y quinto lugar aparecen empresas privadas: Stab Vida y Actual Farmacéutica, con cuatro y tres patentes acumuladas en el período, respectivamente.

En el caso mexicano, donde el 40 % de las patentes pertenecen al sector privado, se observa una gran atomización. Sólo cinco titulares tienen más de una patente en el período estudiado. El principal es la Universidad Nacional Autónoma de México, con nueve registros bajo su titularidad. En segundo y tercer lugar aparecen titulares privados, una empresa del sector agrícola y un titular privado, ambos con tres patentes cada uno.

Brasil, por su parte, muestra una presencia del sector privado bastante menor al promedio iberoamericano, con el 31 %. En este caso, los principales titulares son la Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de San Pablo (FAPESP) y la Fundación Oswaldo Cruz, con diecisiete y quince registros respectivamente. La principal empresa es Alellyx con nueve registros. Entre los titulares del sector público también se destacan el CNPq y EMBRAPA.

En el caso cubano, la presencia del sector privado es mínima, con tan sólo el 10 %.

Las patentes biotecnológicas se concentran en centros públicos, encabezados por el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, que con 31 registros PCT entre 2000 y 2008, es la segunda institución a nivel iberoamericano. Los escasos privados son personas particulares que aparecen en la titularidad de las patentes.

Por último, el caso argentino –sexto en volumen a nivel regional– presenta una llamativa presencia de privados, alcanzando un 57 % del total. Sin embargo, al igual que en el caso mexicano, se observa una gran atomización: sólo tres de los veintitrés titulares de patentes PCT detectados entre 2000 y 2008 poseen más de un registro. Se trata, en primer lugar, de la empresa Immunotech con cuatro, seguida por el CONICET y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), con tres y dos respectivamente. La alta presencia del sector privado se explica, principalmente, por la presencia de inventores que registran sus productos de manera particular, sin pertenecer en principio a ninguna empresa que pueda llevar el desarrollo a escala industrial.

Este panorama general muestra una cierta falta de consolidación en el sector privado, particularmente en los países de menor desarrollo relativo. Resulta muy llamativa la presencia de personas físicas como titulares de patentes y, consecuentemente, algo incierta la posterior explotación comercial de las invenciones registradas.

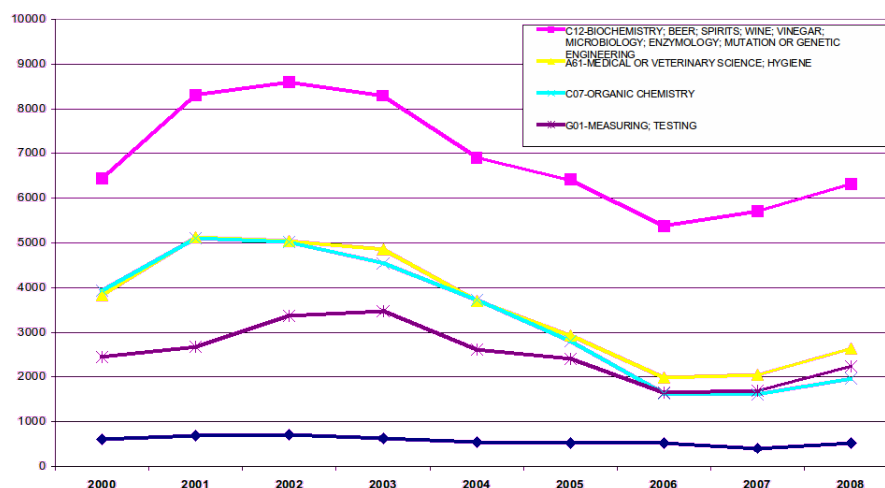
6.3.3. Los campos de aplicación de la biotecnología

Con el objeto de dar cuenta de los campos de aplicación tecnológica de las patentes recopiladas en este estudio, se pueden utilizar los códigos internacionales de clasificación de patentes (IPC). Se trata de una clasificación de carácter jerárquico y que tiene una profundidad de hasta seis dígitos, por lo que la información puede manejarse a niveles de desagregación variables.

En la Figura 6.53 se presenta la evolución de los cinco principales códigos IPC a tres dígitos del total de patentes en biotecnología registrado para 2000-2008 en la base del convenio PCT. Dado que una misma patente puede poseer varios códigos IPC, muchas veces estos códigos se superponen; este análisis se realiza sobre la base de la consideración de todos los códigos IPC en los que cada una de las patentes analizadas ha sido técnicamente clasificada, para más adelante exponer las redes temáticas conformadas por tales interrelaciones.

Considerando el volumen acumulado para el período, en orden decreciente los principales campos de aplicación de las patentes de invención en biotecnología son: Bioquímica, Microbiología e Ingeniería genética (C12, con 62.365 registros), Ciencias médicas y veterinaria (A61, con 32.138), Química orgánica (C07, con 18.751 patentes), Medición y testeo (G01, con 22.580), y Agricultura, Bosques y Ganadería (A01, con 5.097 registros). Continúan el listado de los campos de aplicación más frecuentes entre los títulos de propiedad industrial en biotecnología bajo análisis, aunque con valores significativamente inferiores a los recién referidos (la mitad o menos que los observados en el campo que ocupa el quinto lugar), las siguientes cinco áreas temáticas: Procesos físicos o químicos (B01), Alimentos (A23), Computación (G06), Componentes orgánicos macromoleculares (C08) y Tratamiento del agua (C02).

Figura 6.53: Principales códigos IPC en total de patentes en biotecnología

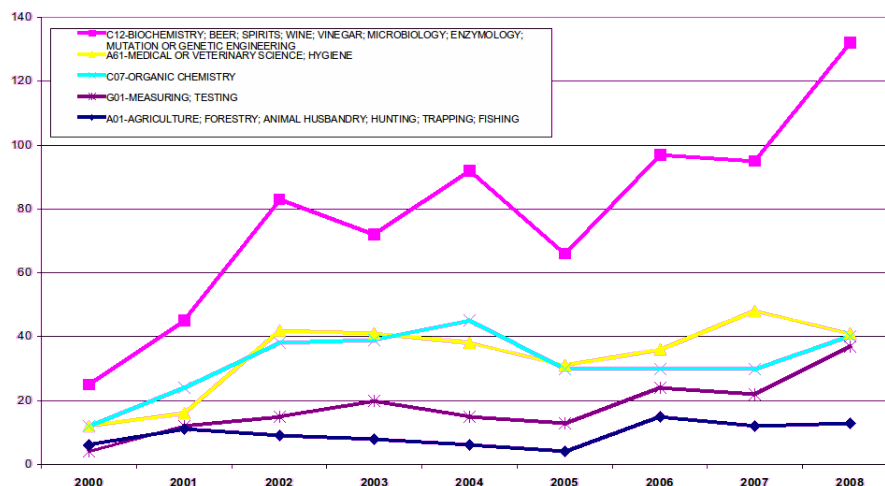


Tanto Bioquímica, Microbiología e Ingeniería genética, el campo de aplicación de la biotecnología dominante a nivel mundial en todos los años analizados, como sus cuatro seguidores Ciencias médicas y veterinaria, Química orgánica, Medición y testeo, y Agricultura, Bosques y Ganadería, registran una tendencia creciente durante el primer trienio del período o bien, en algunos casos, sólo durante el primer bienio, luego muestran un descenso sostenido hasta 2006, para luego reiniciar una curva de crecimiento que, sin embargo, los posiciona por debajo de los valores iniciales. Sin embargo, Agricultura, Bosques y Ganadería, es el que mantiene una participación relativamente más estable a lo largo del período, aunque siguiendo la tendencia general del conjunto.

En Iberoamérica y considerando nuevamente el volumen acumulado para el período, como se muestra en la Figura 6.54 los cinco primeros campos de clasificación de las patentes en biotecnología son los mismos que los observados para el total mundial. Esto es, Bioquímica, Microbiología e Ingeniería genética (C12, con 707 registros), Ciencias médicas y veterinaria (A61, con 305), Química orgánica (C07, con 288), Medición y testeo (G01, con 162), y Agricultura, Bosques y Ganadería (A01, con 84). Con 34 títulos o menos, completan el listado de los diez primeros lugares en aplicaciones más frecuentes en las patentes iberoamericanas en biotecnología Alimentos (A23, en el sexto lugar en el total mundial), Procesos físicos o químicos (B01, quinto en el total mundial), Componentes orgánicos macromoleculares (C08, noveno en el total mundial), Tratamiento del agua (C02, décimo en el total mundial) y, finalmente, compartiendo el décimo puesto (aunque sólo con 5 patentes cada uno), dos campos de aplicación que en el conjunto total mundial aparecían por fuera de los diez principales IPCs a tres dígitos: Fertilizantes (C05) y Producción de papel y celulosa (D21).

La evolución de los cinco principales campos de aplicación de las patentes biotecnológicas iberoamericanas es, sin embargo, notablemente más irregular que la de sus pares del total mundial. Excepto en el caso de Agricultura, Bosques

Figura 6.54: Principales códigos IPC en Iberoamérica en biotecnología

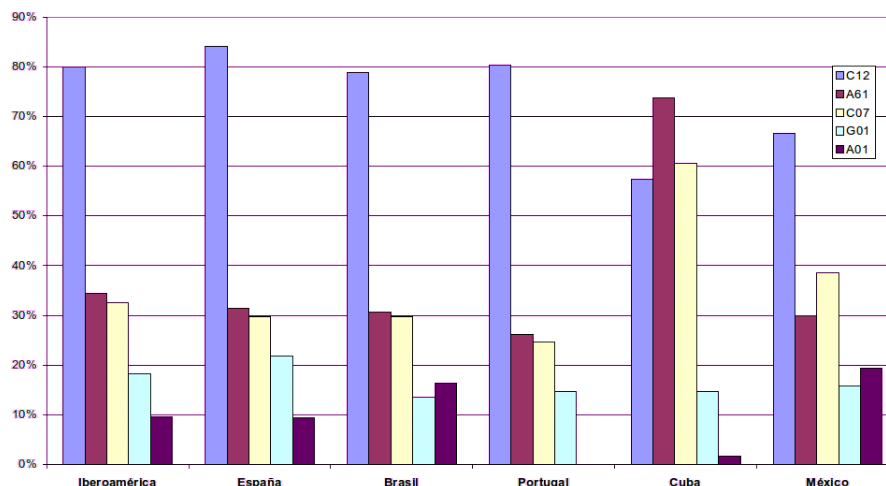


y Ganadería (que sube durante el primer trienio), los otro cuatro tienen un ascenso durante el bienio inicial del período; luego de ello, los cinco descienden y ascienden escalonadamente. Pese a esas irregularidades, todos crecen entre puntas: Bioquímica, Microbiología e Ingeniería genética, el líder de la región, más de cuatro veces entre 2000-2008; Ciencias médicas y veterinaria, Química orgánica, y Agricultura, Bosques y Ganadería más de dos veces; mientras que Medición y testeó crece más de ocho veces.

En la Figura 6.55 se presenta la composición comparada de campos de aplicación a tres dígitos de Iberoamérica y sus principales países en materia de desarrollo en biotecnología durante 2000-2008. A este nivel de desagregación se observa una especialización tecnológica bastante homogénea en cuanto a los campos de clasificación implicados (con la sola excepción de Portugal, que no cuenta con patentes clasificadas con el código A01, Agricultura, Bosques y Ganadería). Cabe destacar de todas maneras algunos matices en cuanto al peso que tienen los principales campos de aplicación en cada país.

El código de clasificación C12 (Bioquímica, Microbiología e Ingeniería genética) concentra cuartas quintas partes o más de las patentes en biotecnología de Iberoamérica como región (80 %), España (84 %), Brasil (79 %) y Portugal (80 %). Sin embargo, se ubica, con el 57 %, en el tercer lugar en el caso de Cuba, país latinoamericano que muestra la mayor especialización temática en los campos de aplicación A61 (Ciencias médicas y veterinaria, 74 % de las patentes de ese país) y C07 (Química orgánica, 61 %), campos que en los demás países de la región se ubican entre el 25 y el 40 %. El campo G01 (Medición y testeó) sólo tiene una presencia superior a la media iberoamericana en España (22 %), girando en torno al 15 % en el resto de los casos. Finalmente, el código A01 (Agricultura, Bosques y Ganadería), como se señaló anteriormente se observa una vez más la ausencia de Portugal, se destaca relativamente en la especialización tecnológica en biotecnología de México (19 %) y Brasil (16 %), ubicándose en valores

Figura 6.55: Especialización tecnológica a partir de códigos IPC en biotecnología



inferiores al 10 % en los demás países considerados.

En la Figura 6.56 se pueden observar los principales campos de aplicación a cuatro dígitos del total de patentes en biotecnología correspondientes al período 2000-2008. Se destacan especialmente seis temáticas: Propagación, preservación o mantenimiento de microorganismos, mutación o ingeniería genética (C12N, con 43.951 registros de propiedad industrial), Preparaciones para propósitos médicos, dentales o higiénicos (A61K, con 29.833 títulos), Péptidos (C07K, con 26.090), Procesos de medición o testeo que incluyen enzimas o microorganismos (C12Q, con 23.887 registros), Investigación o análisis de materiales incluyendo determinaciones de sus propiedades químicas o físicas (G01N, con 22.519) y, por último, Actividad terapéutica de compuestos químicos o preparaciones médicas (A61P, con 15.342 patentes).

En Iberoamérica como conjunto y durante el mismo período, se observa idéntica especialización temática en la clasificación de IPCs a 4 dígitos registrada anteriormente para el total mundial (Figura 6.57), tanto a nivel de los primeros seis campos de aplicación presentes en sus patentes en biotecnología como a sus posiciones relativas.

Propagación, preservación o mantenimiento de microorganismos, mutación o ingeniería genética (C12N) acumula 488 patentes durante 2000-2008 en la región iberoamericana; Preparaciones para propósitos médicos, dentales o higiénicos (A61K) suma 290 títulos; Péptidos (C07K) reúne 240 registros de propiedad industrial; Procesos de medición o testeo que incluyen enzimas o microorganismos (C12Q) cuenta con 203 patentes; Investigación o análisis de materiales incluyendo determinaciones de sus propiedades químicas o físicas (G01N) tiene 162; y Actividad terapéutica de compuestos químicos o preparaciones médicas (A61P) suma 146 títulos.

Resulta interesante analizar con más detalle la composición de los cuatro pri-

Figura 6.56: Principales códigos IPC en total de patentes en biotecnología

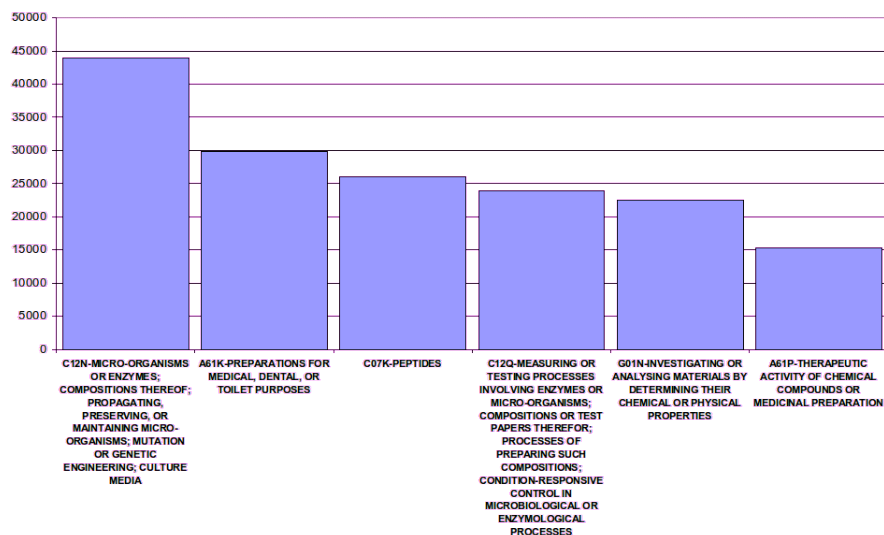
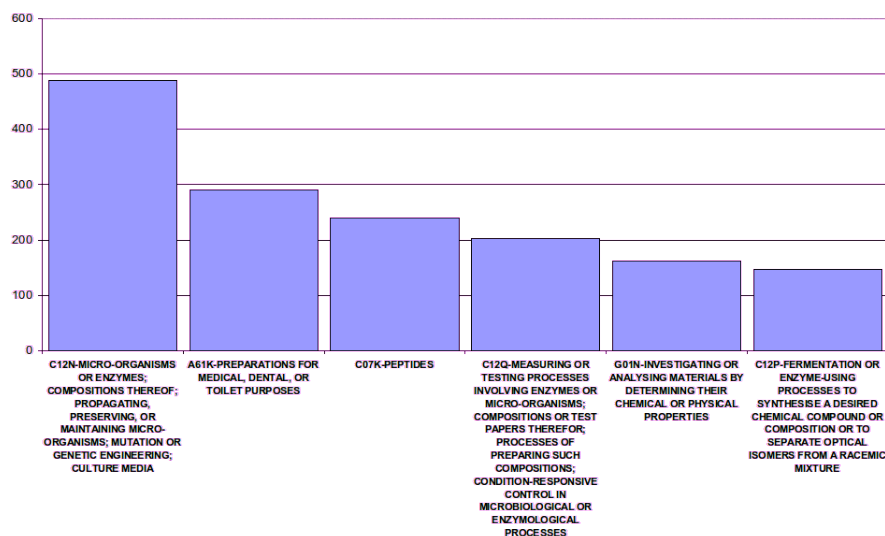


Figura 6.57: Principales códigos IPC en patentes iberoamericanas

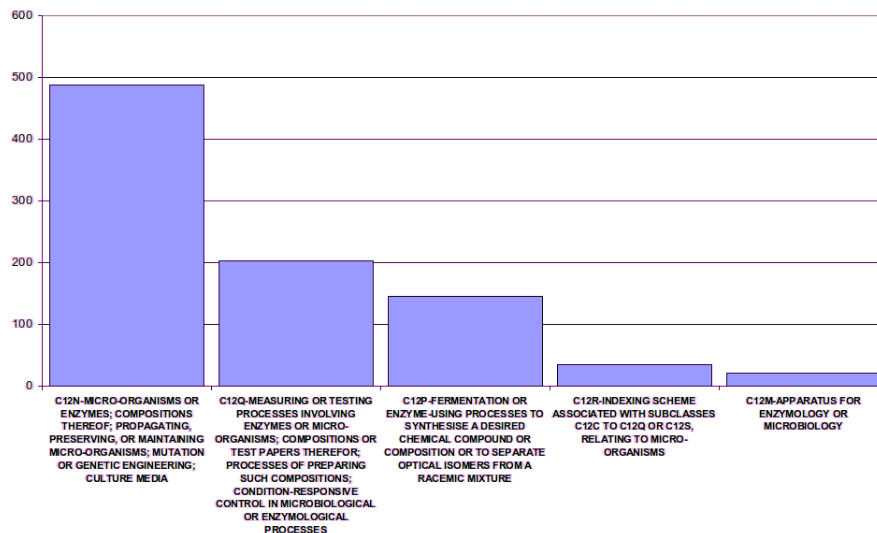


meros campos de aplicación tecnológica de las patentes iberoamericanas en biotecnología recuperados para 2000-2008 a tres dígitos, examinando los campos de aplicación a cuatro dígitos que ellos contienen.

La Figura 6.58 presenta los campos de aplicación a cuatro dígitos que se destacan en Bioquímica, Microbiología e Ingeniería genética (C12). Ellos son fundamentalmente Propagación, preservación o mantenimiento de microorganismos, mutación o ingeniería genética (C12N), Procesos de medición o testeo que incluyen enzimas o microorganismos (C12Q) y Fermentación o procesos que utilizan

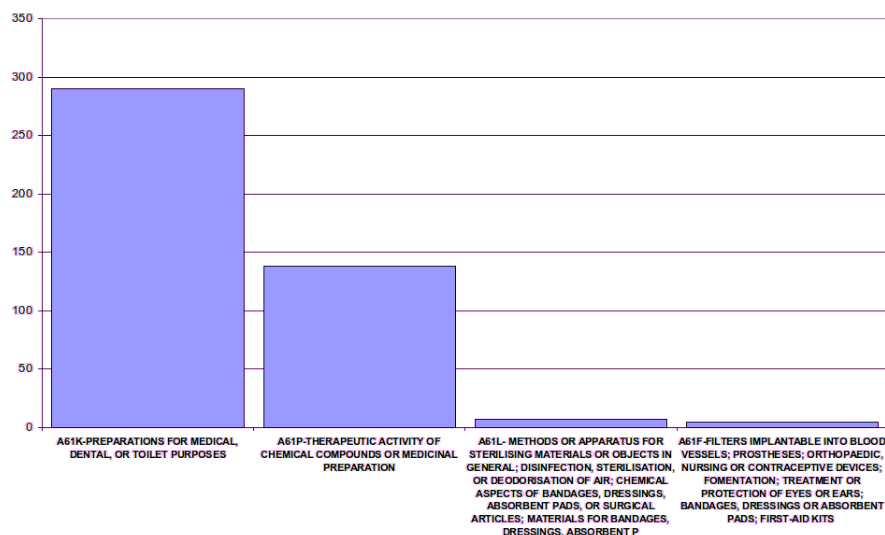
enzimas para la síntesis de compuestos químicos (C12P).

Figura 6.58: Principales códigos IPC dentro de C12 en patentes iberoamericanas



La Figura 6.59 muestra que el campo A61 (Ciencias médicas y veterinaria) se compone fundamentalmente, según los códigos IPC a cuatro dígitos, de Preparaciones para propósitos médicos, dentales o higiénicos (A61K) y Actividad terapéutica de compuestos químicos o preparaciones médicas (A61P).

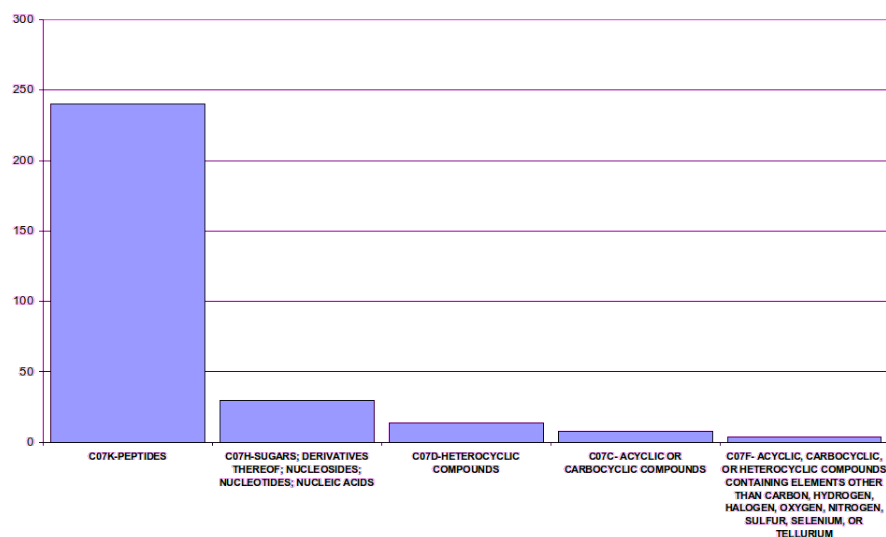
Figura 6.59: Principales códigos IPC dentro de A61 en patentes iberoamericanas



La Figura 6.60 permite observar la concentración de campos de aplicación a cuatro dígitos incluidos en Química orgánica (C07): se trata casi únicamente

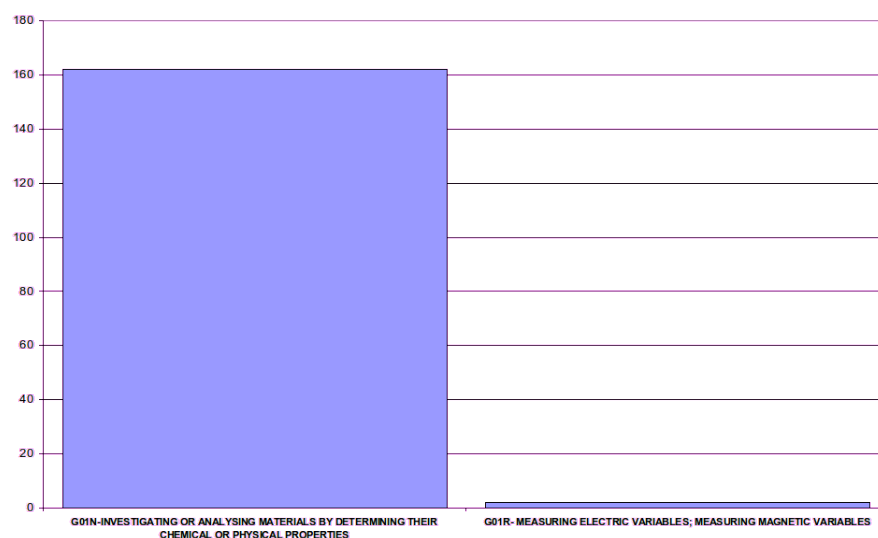
de Péptidos (C07K) y, en una muy pequeña proporción, de Azúcares (C07H) y otras temáticas conexas.

Figura 6.60: Principales códigos IPC dentro de C07 en patentes iberoamericanas



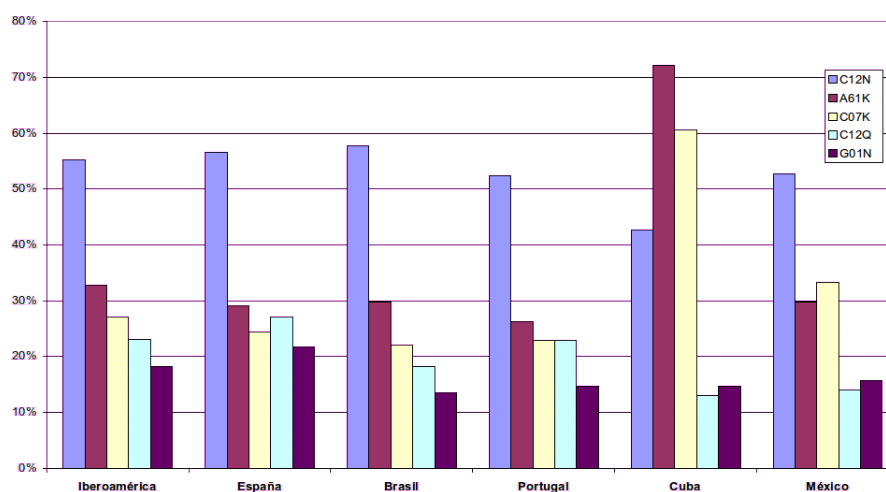
En la Figura 6.61 se observan los principales IPCs a cuadro dígitos contenidos en Medición y testeo (G01). La concentración es prácticamente absoluta en un solo campo de aplicación: Investigación o análisis de materiales incluyendo determinaciones de sus propiedades químicas o físicas (G01N), quinto en el conjunto de las patentes iberoamericanas en biotecnología.

Figura 6.61: Principales códigos IPC dentro de G01 en patentes iberoamericanas



La Figura 6.62 presenta la composición comparada de los campos de clasificación a cuatro dígitos de Iberoamérica y sus cinco principales países en patentamiento en biotecnología durante 2000-2008. Al igual que con los IPCs-3, a este nivel de desagregación se observa una importante homogeneidad en la especialización tecnológica en cuanto a los principales campos de aplicación implicados. Algunas diferencias aparecen, no obstante, en el peso relativo que tienen las distintas temáticas.

Figura 6.62: Especialización tecnológica en biotecnología



En función de los conocimientos adquiridos y los desarrollos en técnicas de ingeniería genética que facilitaron el desarrollo de organismos genéticamente modificados y su aplicación en la industria, el campo de aplicación C12N (Propagación, preservación o mantenimiento de microorganismos, mutación o ingeniería genética) concentra más de la mitad de las patentes iberoamericanas en biotecnología (55 %), proporción que se mantiene en cuatro de los cinco principales países de la región y sólo resulta diferente en Cuba (que tiene un 43 % de sus patentes biotecnológicas en este campo). En este último país, superan el 50 % dos campos de aplicación que en todos los demás casos considerados se ubican entre el 13 % y el 33 %: se trata de los códigos A61K (Preparaciones para propósitos médicos, dentales o higiénicos) y C07K (Péptidos), que reúnen, respectivamente, al 72 % y al 61 % de las patentes cubanas en esta temática. El código C12Q (Procesos de medición o testeo que incluyen enzimas o microorganismos) aparece como una temática tecnológica de cierta importancia en España (27 %) y Portugal (23 %), con valores entre el 13 % y el 18 % en los demás países analizados. Por último, el campo G01N (Investigación o análisis de materiales incluyendo determinaciones de sus propiedades químicas o físicas) tiene una presencia significativa en España (22 %), agrupando títulos de propiedad industrial en torno al 15 % en el resto de los países.

Una perspectiva complementaria a la descripción de los ámbitos de clasificación presentes en las patentes del campo de la biotecnología, integrado por diferen-

tes disciplinas que se relacionan entre sí, pueden ofrecerla las herramientas de análisis de conglomerados o clustering. Este tipo de herramientas ofrecen un panorama detallado de la trama básica de la especialización tecnológica mundial e iberoamericana presente en el corpus de patentes analizado.

Una fuente de gran calidad y pertinencia para ello son justamente los códigos IPC a cuatro dígitos. Los agrupamientos de patentes emergentes en función de la co-ocurrencia de dos o más códigos IPC (a cuatro dígitos) en las patentes en biotecnología existentes a nivel mundial e iberoamericano en la WIPO para el período 2000-2008, pueden observarse en las Figuras 6.63 y 6.64, respectivamente. El volumen de los nodos representa la cantidad de patentes asignadas a cada código IPC y la intensidad de los lazos entre ellos da cuenta de las veces en que esos códigos concurren en las patentes recuperadas. Al igual que en el caso de algunas redes de publicaciones ya presentadas, en este caso también se han podado los vínculos con el algoritmo MST, dejando sólo la estructura básica de las agrupaciones.

A nivel mundial (Figura 6.63), se observa una gran diferencia de magnitud entre los códigos IPC agrupados en el conglomerado central y el resto. El principal de ellos es el C12N, que abarca la definición de microorganismos y enzimas, dando nombre a este conjunto. A partir de él se encadena la principal industria relacionada con la biotecnología: la farmacéutica, cuyos productos se incluyen en el código A61K (preparations for medical, dental, or toilet purposes), relacionados a la vez con los del A61P, que abarca las actividades químicas de los anteriores.

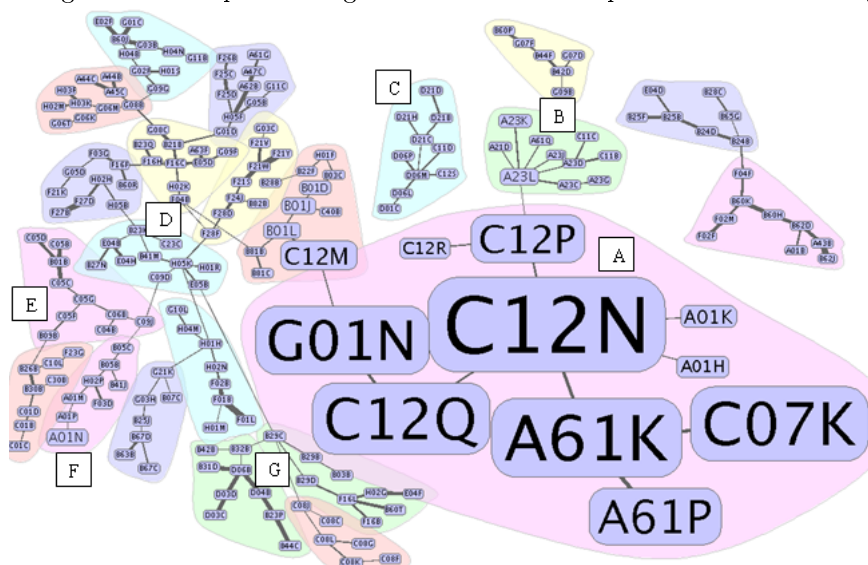
Aunque con presencia en un número mucho menor de documentos, dos códigos de la clasificación A01, que abarca principalmente invenciones relacionadas con el sector agrícola y ganadero. Se trata de A01K (animal husbandry; care of birds, fishes, insects; fishing; rearing or breeding animals, not otherwise provided for; new breeds of animals) y A01H (new plants or processes for obtaining them; plant reproduction by tissue culture techniques). Si bien su volumen es menor al resto de los códigos presentes en este cluster, su presencia señala la importancia que tiene el sector en el desarrollo tecnológico de la biotecnología.

El resto de los conglomerados reúnen códigos de clasificación de una presencia mucho menor a los del conjunto principal, presentando una gran variedad de aplicaciones de la biotecnología en ramas muy variadas de la industria. A continuación se detallan las características de algunos de ellos, ya sea por su interés intrínseco como por su valor en la comparación con lo que se observará luego a nivel de espacio iberoamericano del conocimiento.

El conglomerado B, por ejemplo, abarca la producción de alimentos. Teniendo como nexo al conjunto principal al código C12P, dedicado a los procesos de fermentación, y centrado en el código A23L (foods, foodstuffs, or non-alcoholic beverages, their preparation or treatment, modification of nutritive qualities, physical treatment; preservation of foods or foodstuffs). En este grupo se incluyen también los productos y procesos relacionados con los alimentos funcionales, sector que está registrando un interesante desarrollo en los últimos tiempos.

Sin conexión en otros clusters aparece el grupo C, que reúne una serie de códigos de clasificación relacionados con las industrias textiles y del papel. La categoría D21, dedicada a la producción de papel y celulosa, se organiza en torno al código D21C (production of cellulose by removing non-cellulose substances

Figura 6.63: Mapa de códigos IPC en el total de patentes en biotecnología



A	Microorganismos y enzimas
B	Alimentos
C	Papel y textil
D	Impresión
E	Fertilizantes
F	Pesticidas
G	Plásticos

from cellulose- containing materials; regeneration of pulping liquors; apparatus therefor), mientras que la producción tecnológica de la industria del papel se organiza a partir del código D06M (treatment of fibres, threads, yarns, fabrics, feathers, or fibrous goods made from such materials).

El conglomerado D concentra los desarrollos relacionados con distintos aspectos de la impresión. Eso incluye las aplicaciones vinculadas con los circuitos impresos en la industria electrónica y con diversos aspectos del copiado. Los primeros se articulan a partir del código H05K (printed circuits; casings or constructional details of electric apparatus; manufacture of assemblages of electrical components), y los segundos a través de la clasificación B41M (printing, duplicating, marking, or copying processes; colour printing).

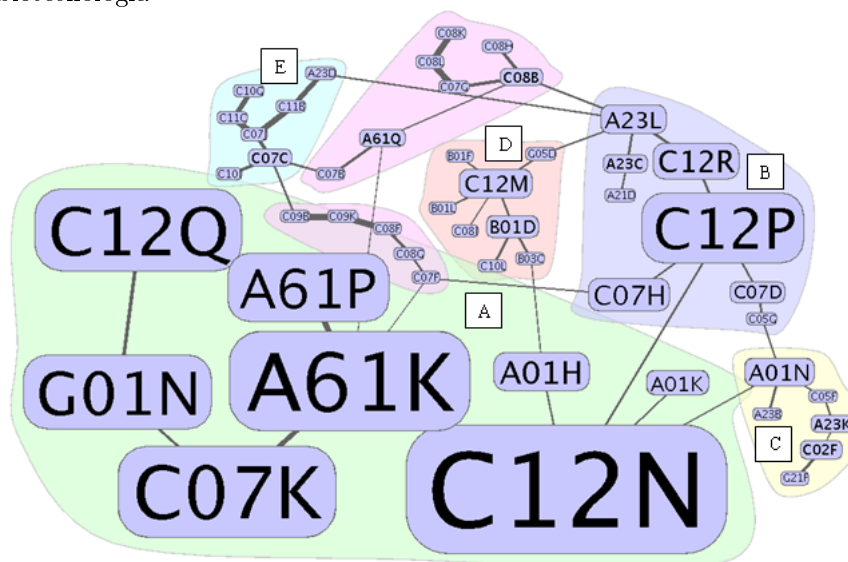
Los conjuntos E y F, que se encuentran muy cercanos, se relacionan con la aplicación de la biotecnología en el sector agrícola. El primero de ellos reúne diversos códigos de la clasificación C05, específica de la producción de fertilizantes, mientras que el segundo está dominado en volumen por la clasificación A01N (preservation of bodies of humans or animals or plants or parts thereof; biocides, disinfectants, pesticides, herbicides; pest repellants or attractants; plant growth regulators). El puente entre esta clasificación y el resto del mapa, a través del conglomerado que reúne a los fertilizantes, está dado por métodos relacionados

con la aplicación de estos productos, bajo los códigos B05 (spraying or atomising in general; applying liquids or other fluent materials to surfaces, in general).

El último conglomerado destacado es el G, que abarca la producción de materiales plásticos clasificados bajo el código B29. Es interesante la presencia en este conjunto de patentes bajo la clasificación F16L, relacionada con aislantes eléctricos y térmicos.

A nivel iberoamericano (Figura 6.64) el mapa resultante del análisis de la co-ocurrencia de códigos de clasificación presenta un nivel de complejidad mucho menor. El conjunto central contiene clasificaciones similares al cluster central a nivel mundial, aunque en este caso la presencia de la industria farmacéutica, contenida en la clasificación A61K, tiene una presencia relativa mayor a nivel regional.

Figura 6.64: Mapa de códigos IPC en el total de patentes iberoamericanas en biotecnología



A	Microorganismo, enzimas y medicamentos
B	Alimentos
C	Pesticidas
D	Procesos y aparatos
E	Aceites

El resto de los conjuntos presentados están fuertemente centrados en la producción agropecuaria y de alimentos. Incluso dentro del cluster A, la presencia de los códigos de la rama A01, relacionados con la crianza de animales y el desarrollo de plantas transgénicas, tienen una presencia relativa mucho mayor que en el mapa obtenido para el total mundial de las patentes en el campo.

El conjunto B está relacionado con la producción de alimentos y bebidas. Si bien el código de mayor volumen es el C12P (fermentation or enzyme-using processes

to synthesise a desired chemical compound or composition or to separate optical isomers from a racemic mixture), relacionado con la fermentación y el uso de enzimas, su relación con los códigos A23, la relacionan con la producción de alimentos. Estos son A23L (foods, foodstuffs, or non-alcoholic beverages, their preparation or treatment, modification of nutritive qualities, physical treatment; preservation of foods or foodstuffs) y A23C (dairy products, e.g. milk, butter, cheese; milk or cheese substitutes; making thereof).

El conglomerado C también está relacionado con la producción agropecuaria. Se trata principalmente de desarrollos relacionados con la producción de pesticidas, que se agrupan bajo el código A01N (preservation of bodies of humans or animals or plants or parts thereof; biocides, disinfectants, pesticides, herbicides; pest repellants or attractants; plant growth regulators). Otros dos códigos son importantes dentro de este cluster, se trata del A23K, que contiene invenciones relacionadas con la producción de forrajes, y C02F, relacionado con el tratamiento de aguas.

Por otra parte, con fuertes conexiones con los conjuntos A y B, aparece el conglomerado D, que agrupa desarrollos relacionados con la producción de procesos y aparatos. El código central en este conjunto es el C12M (apparatus for enzymology or microbiology), que se articula con el cluster de alimentos mediante el código C05D, centrado en la producción de fertilizantes. Su relación con el cluster central está dada a través de los códigos B01D y B03C, ambos relacionados con la separación de materiales.

Por último, el conglomerado E está centrado en la producción de aceites, agrupado en los códigos de la rama C11. Mantiene, además, vinculación con el cluster centrado en alimentos, mediante las patentes de la clasificación A23D (edible oils or fats, e.g. margarines, shortenings, cooking oils).

6.4. Evidencias surgidas del análisis de indicadores con participación de expertos

A lo largo del desarrollo de este capítulo ha sido posible observar un panorama general positivo para la biotecnología iberoamericana, aunque con diferencias, a veces muy significativas, entre los diferentes países. Más allá de la información sobre producción científica aquí analizada, otra información disponible permite confirmar este diagnóstico.

La superficie sembrada con OGM ha crecido sostenidamente en la región, al igual que las ofertas de formación de posgrado, la cantidad de grupos de investigación y de investigadores activos, la cantidad de empresas y de centros de excelencia. Desde esta perspectiva, se trata de un campo vigoroso, probablemente de los más dinámicos dentro de las actividades científicas y tecnológicas en la mayoría de los países.

En este contexto, España se destaca claramente por el volumen de su producción científica, tanto en publicaciones como en patentes. En estas últimas, su diferencia con el resto de los países iberoamericanos es cualitativa. En el continente americano le sigue Brasil, que además ostenta el mayor índice de crecimiento en

el período analizado. Ambos casos reflejan políticas de estado sostenidas en el tiempo, dirigidas a la promoción de la investigación científica en general y de la biotecnología en particular.

Se han observado también interesantes patrones en términos de cooperación científica, señalando un importante dinamismo en el campo científico. La cooperación internacional es una de las maneras de complementar las necesidades de equipamiento y de capacidades técnicas de los diferentes grupos de investigación, sólo parcialmente satisfechas en los países con menores recursos. Este estudio muestra una tendencia creciente a establecer vínculos de cooperación reflejados en las publicaciones conjuntas entre países de Iberoamérica y de otras partes del mundo, principalmente Estados Unidos y algunos países de Europa.

Los análisis de los trabajos en colaboración entre países iberoamericanos y aquellos no incluidos en esta región parecen reflejar tanto la existencia de convenios de cooperación científica y fuentes de financiación a las que pueden acceder los científicos de Iberoamérica, como también a los lazos establecidos por científicos que realizaron estancias posdoctorales en los países que aparecen más representados en las colaboraciones.

Sin embargo, la transferencia de tecnología, proceso sobre el que las patentes pueden ofrecer indicios, aparece como un aspecto menos atendido. En términos de protección de la propiedad intelectual, un aspecto aún poco desarrollado en la mayoría de los países de Iberoamérica, se destaca el caso de Cuba. Es probablemente un ejemplo de actividad en I+D fuertemente orientada y de una política efectiva y sostenida. Por otra parte, siendo la agricultura una actividad económica de máxima importancia en la mayoría de los países iberoamericanos, no llama la atención una predominancia de patentes sobre organismos genéticamente modificados; sin embargo, debe reconocerse que esas patentes corresponden a compañías multinacionales y no han sido originadas en su gran mayoría en actividades de I+D financiadas en los países de la región.

La interacción entre las empresas y los centros de investigación científica aparece también como un fenómeno poco extendido. Si bien las fuentes aquí analizadas no permiten abordar el tema de forma directa, muestran una cierta debilidad del sector privado a nivel regional. Es llamativa la presencia de instituciones públicas de I+D y personas físicas entre los titulares de patentes en un campo como la biotecnología, donde la producción industrial requiere niveles de inversión significativos.

Como dato alentador, sin embargo, existen en varios países de la región en la actualidad indicios de un incremento en las iniciativas de pequeñas y medianas empresas que apuntan al desarrollo y comercialización de productos biotecnológicos de alto valor agregado. La capacidad técnica, el conocimiento y los recursos humanos formados para impulsarlas parece disponible, resulta entonces un desafío para quienes diseñan políticas e instrumentos, ofrecerle a estos emprendimientos un entorno propicio para su consolidación. Pero la explotación del amplio potencial de la biotecnología no recae exclusivamente en el sector privado. Según señalan investigadores en este tema, el gran desafío de los países iberoamericanos es establecer políticas que apunten a mejorar la disponibilidad local de infraestructuras y el financiamiento, para aprovechar de manera plena los recursos humanos y aportar a la solución de problemas de alto impacto social. Por ejemplo, la atención de la salud pública, a través de la disponibilidad

de reactivos de diagnóstico, medicamentos y vacunas, no siempre pueden ser atractivos para empresas de capitales privados.

En ese sentido, la adquisición de grandes equipamientos resulta para ellos un tema crítico en los países iberoamericanos, con la exclusión de España y, quizás, Brasil. Se están adquiriendo en la actualidad equipos para estudios de proteómica y genómica en varios países latinoamericanos, que serán capaces de satisfacer las necesidades de varias instituciones. Estas tecnologías de última generación podrían tener un alto impacto en los campos relacionados con la medicina y la producción agropecuaria, un campo de investigación en el que la región demuestra tener mucha capacidad de desarrollo.

Conclusiones

A lo largo del recorrido de esta tesis he tratado de poner en evidencia que la producción de información en ciencia, tecnología e innovación, los actores participantes en ese proceso y sus enfoques teórico-prácticos, así como también las dinámicas que entre ellos se producen, han configurado un campo cambiante a lo largo del tiempo. Estos cambios han tenido que ver con la necesidad de información para la toma de decisiones con distintos propósitos y a diferentes niveles. El abanico de usos de la información científica, tecnológica y de innovación ha ido desde la investigación hasta la gestión, abarcando distintos niveles de análisis, desde el institucional hasta la comparación internacional.

La evolución de esas dinámicas ha quedado plasmada en sus productos más difundidos y estandarizados: los indicadores, como expresión cuantitativa de la información, son un claro ejemplo de ello. A lo largo de esta tesis se han presentado las diferentes familias de indicadores de ciencia, tecnología e innovación y como ellos son el resultado de un determinado enfoque conceptual, acorde con las ideas predominantes a cada momento en el ámbito de las políticas científicas y tecnológicas. A un nivel conceptual aún mayor, se han presentado indicios sobre la manera en que los distintos modelos de política científica y tecnológica, así como los sistemas de indicadores que generan para satisfacer sus demandas de información, presuponen una concepción específica de la relación entre la ciencia, la tecnología y la sociedad.

En definitiva, el desafío que enfrentan los productores de información científica es dar una imagen lo más acabada posible de un fenómeno que, como ya señalaba De Solla Price en los años '60, está en constante expansión, tanto en dimensiones como en complejidad. Por ese motivo, los enfoques, metodologías y herramientas de la información científica han ido acompañando ese proceso.

Como generadores de esta evolución es posible identificar, al menos, a tres causas. En primer lugar, los cambios en las dinámicas que se generan dentro de la comunidad científica y tecnológica, que demandan la producción de cierto tipo de información para su monitoreo. Es el caso, por ejemplo, la aparición de la colaboración internacional como un factor crítico en la actividad científica, que dio lugar a bases de datos sobre el tema y a una familia completa de indicadores orientados a dar cuenta de este fenómeno.

En segundo lugar, los cambios en la concepción teórica del fenómeno de la producción de conocimiento y la interacción de los agentes involucrados da lugar a enfoques teóricos que moldean la información que se produce. Por ejemplo, el modelo lineal de la ciencia y la tecnología, que orientó los primeros años de la

política científica moderna, en el que la investigación -especialmente de carácter básico- es vista como el factor crítico, dio lugar a los indicadores de I+D regidos por el Manual de Frascati.

Posteriormente, con la identificación de fenómenos de innovación escasamente basados en la I+D, que impulsaron el desarrollo acelerado de países como Japón, aparece el modelo de eslabonamiento en cadena (que no ha reemplazado al anteriormente mencionado, sino que se ha convertido en un enfoque distinto pero complementario), en el que la linealidad da paso a un sistema de relaciones de ida y vuelta entre las etapas de desarrollo. Este nuevo enfoque dio lugar a otra familia de indicadores, en este caso los que fueron luego asentados en el Manual de Oslo.

Por último, la capacidad técnica relacionada con el procesamiento de la información ofrece nuevas posibilidades que luego son plasmadas en nuevas fuentes de información o nuevos tipos de indicadores. El ejemplo más claro de este tipo de cambio en la producción de información en ciencia, tecnología e innovación se ha dado en los últimos años con el desarrollo masivo de las TIC. En particular, este proceso ha afectado drásticamente la producción de indicadores bibliométricos. El cambio observado desde el trabajoso procesamiento manual de las referencias bibliográficas en los primeros estudios de Eugene Garfield hasta el actual procesamiento en línea que ofrecen las principales bases de datos bibliométricas internacionales es abismal, poniendo la producción de indicadores básicos de publicaciones científicas al alcance de casi todos los usuarios. Por otra parte, el procesamiento informático más avanzado de datos ofrece nuevas posibilidades informativas, al tiempo que permite trabajar sobre volúmenes antes inabarcables.

En la actualidad, y como un fenómeno que se viene observando con fuerza desde hace más de una década, la práctica de la actividad científica y tecnológica se caracteriza por una creciente extensión y complejidad en los procesos de colaboración que se establecen dentro de las comunidades de investigación y desarrollo. La denominada nueva forma de producción de conocimiento (Gibbons, 1994) es una de las construcciones teóricas más difundidas para dar cuenta de un proceso que no ha dejado de expandirse, más allá de las controversias a que este modelo ha dado lugar.

La importancia de este cambio no es de carácter descriptivo, sino que tiene un fuerte impacto sobre las políticas de ciencia, tecnología e innovación que se adopten. La comprensión y profundización de estos aspectos pueden proporcionar informaciones relevantes para aumentar la eficacia y favorecer la constitución de redes como instrumentos de cooperación internacional y de crecimiento de la ciencia y la tecnología.

Se trata de procesos de colaboración que abarcan cruces en muchos sentidos. Incluyen desde la colaboración entre investigadores, que se organizan para abordar temas y problemas cada vez más específicos, atravesando límites institucionales y nacionales, hasta la creciente constitución de grupos de investigación que ya no reflejan las fronteras disciplinarias tradicionales. Es el caso, por ejemplo, de los campos analizados en este trabajo –la nanotecnología y la biotecnología– que se caracterizan por ser objeto de la convergencia de muchos campos de estudio que tradicionalmente no se entrelazaban de manera tan intensa.

Por otra parte, la colaboración a nivel institucional, geográfico y disciplinar, es vista en el marco de la política científica como un fenómeno multiplicador de la productividad y calidad de las actividades de ciencia y tecnología. Es por eso que el fomento a la colaboración, en todos los sentidos mencionados, es actualmente sujeto de políticas a nivel nacional en muchos países del mundo. Este trabajo incluye ejemplos específicos en ese sentido, como el esfuerzo europeo por establecer un Área Europea de Investigación.

Este nuevo foco de las políticas de ciencia, tecnología e innovación hace necesario el desarrollo de indicadores que aporten información a los procesos de diseño de políticas, gestión de programas y evaluación de resultados. En ese contexto, el análisis de redes es una respuesta a esta demanda, con un enfoque que permite la combinación de una mirada cuantitativa y otra cualitativa.

El estudio y revisión de indicadores centrados en el análisis de redes, mediante instrumentos basados en la teoría de grafos, ha permitido poner en evidencia su utilidad como herramienta de estudio cuantitativo, identificando los más relevantes y apropiados para dar cuenta de las interacciones que ocurren dentro de los sistemas de ciencia, tecnología e innovación. La mirada cualitativa que permiten estos indicadores está relacionada con las posibilidades que ofrece la representación gráfica de las redes, que mediante diferentes técnicas de visualización permiten al usuario obtener una representación del fenómeno que se está analizando, favoreciendo una interpretación más intuitiva.

Los estudios de caso que ocupan dos de los capítulos de esta tesis han demostrado de manera práctica la utilidad de combinar distintos tipos de indicadores, algunos de carácter atributivo con otros de carácter relacional seleccionados de las herramientas propias del análisis de redes. Los indicadores resultantes son de utilidad para la medición de procesos vinculados con la colaboración y la interacción disciplinaria, aportando herramientas informativas para la política y la evaluación de dinámicas relacionadas con interacciones entre países, instituciones y también disciplinas o campos de aplicación.

Esta familia de indicadores relacionales para monitorear las dinámicas de la ciencia, la tecnología y la innovación aparece como un paso más en la evolución de estas herramientas informativas, acompañando las demandas de los tomadores de decisión, gestores y evaluadores. No se trata, por supuesto, de una ruptura con respecto a la información anteriormente disponible. El análisis de redes aplicado a la información científica, al igual que los indicadores de sociedad de la información o de impacto social, por ejemplo, se convierte en un elemento más para complementar a las familias de indicadores disponibles actualmente.

Cada rama de la información científica y cada familia de indicadores en particular, puede ser vista como una de las pequeñas piedras que conforman un mosaico, que al igual que el fenómeno que busca representar -la ciencia, la tecnología y la innovación- crece en dimensiones y complejidad. Ninguna de esas piedras brinda una representación de la totalidad; sólo una mirada integradora y a la distancia puede ofrecer una visión del conjunto. Sólo la mente del observador convierte un grupo de piedras de colores, ubicadas en una posición determinada, en una figura coherente. De la misma manera, ni un indicador ni un grupo de indicadores, dice demasiado por sí mismo. Es la observación del analista la que completa la imagen y la convierte en un fenómeno interpretable sobre el que es posible actuar.

Es por eso que resulta imprescindible al momento del análisis tener en cuenta también la lógica y el modelo conceptual que reside detrás de cada familia de indicadores. Es decir, qué fenómenos en particular buscan mostrar y qué papel le dan en el conjunto de las dinámicas del sistema de ciencia, tecnología e innovación.

Como se ha señalado a lo largo de este trabajo, los indicadores nunca son plenamente objetivos, en la medida en que fueron creados con un sentido específico, que responde a determinadas necesidades y prioridades. Suponen, entonces, la existencia de un modelo teórico que se propone dar cuenta de un determinado fenómeno de manera cuantitativa. Por este motivo, los indicadores cuantitativos nunca pueden separarse de la apreciación cualitativa que les dio origen.

Por lo tanto, una correcta utilización de la información científica y los indicadores sólo es posible mediante su integración con las características conceptuales de su producción y las dinámicas que para ello se dan entre los actores participantes en su generación.

Bibliografía

- Albornoz, M., 2001. Política Científica. Editorial de la UNQ, Quilmes.
- Albornoz, M., 2006. Indicadores de ciencia y tecnología en Iberoamérica. Agenda 2005. RICYT, Buenos Aires, Ch. El desafío de hacer indicadores en América Latina.
- Albornoz, M., 2010. Indicadores de innovación: las dificultades de un concepto en evolución. Revista CTS 13.
- Albornoz, M., Barrere, R., 2010. Indicadores de ciencia y tecnología en iberoamérica. Módulo II Política Científica, Curso Iberoamericano de Formación de Agentes de Cultura Científica, Escuela de Ciencia - Centro de Altos Estudios Universitarios OEI.
- Albornoz, M., Martínez, E., 1998. Indicadores de ciencia y tecnología: Estado del arte y perspectivas. Nueva Sociedad, Caracas, Ch. Indicadores de ciencia y tecnología: balance y perspectivas.
- Annerstedt, J., 1994. The uncertain quest: science, technology, and development. United Nations University Press, Tokyo - New York - Paris, Ch. Measuring Science, technology and innovation.
- Barabási, A., Jeong, H., Néda, Z., Ravasz, E., Schubert, A., Vicsek, T., 2005. Evolution of the social network of scientific collaborations.
- Barabási, A., Ravasz, E., Vicsek, T., 2001. Deterministic scale-free networks. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 299.
- Barré, R., 1993. World Science Report. UNESCO, París, Ch. Science and technology systems: Global overview.
- Barré, R., 1997. El Universo de la Medición. Tercer Mundo, Bogotá, Ch. La producción de indicadores para la política de investigación e innovación: Organización y contexto institucional.
- Barré, R., 2001. Sense and nonsense of s&t productivity indicators. Science and Public Policy 28 (4).
- Beaver, D., 2001. Reflections on scientific collaboration (and its study): past, present, and future. Scientometrics 3 (52), 365–377.
- Bell, D., 1994. El advenimiento de la sociedad post-industrial. Alianza Editorial, Madrid.

- BID, 2000. La ciencia y la tecnología para el desarrollo: Una estrategia del BID. BID, Washington.
- Bordons, M., 2001. Aspectos metodológicos en la obtención de indicadores bibliométricos. Cuadernos de Indicios (1).
- Borgatti, S., 1996. A measure of past collaboration. *Connections* 1 (19), 58–60.
- Brandi, C., 2006. La historia del brain drain. *Revista CTS* 3 (7).
- Bush, V., 1999. Ciencia, la frontera sin fin. un informe al presidente, julio de 1945. *REDES* (14).
- Callon, M., Courtial, J. P., Penan, H., 1995. Cienciometría. El estudio cuantitativo de la actividad científica: de la bibliometría a la vigilancia tecnológica. Trea, Madrid.
- Card, S., Mackinlay, J., Shneiderman, B., 1999. *Information Visualization. Using vision to think*. San Francisco.
- Clark, N., 1985. *The political economy of science and technology*. Basil Blackwell, New York.
- Crane, D., 1972. *Invisible Colleges. Diffusion of Knowledge in Scientific Communities*. The Chicago University Press, Chicago.
- Croucher, J., 1987. Technology indicators or use for developing countries.
- Davenport, T., Prusak, L., 2000. *Working knowledge: How organizations manage what they know*. Harvard Business School Press, Cambridge.
- David, P., Foray, D., 2002. Una introducción a la economía y a la sociedad del saber. *Revista Internacional de Ciencias Sociales* (171).
- D’Onofrio, M. G., 2009. The public cv database of argentine researchers and the cv-minimum latin-american model of standardization of cv information for r&d evaluation and policy-making. *Research Evaluation* 18 (2).
- Elzinga, A., Jamison, A., 1996. El cambio de las agendas políticas en ciencia y tecnología. *Zona Abierta* (75).
- Feldman, R., Sanger, J., 2007. *The text mining handbook: advanced approaches in analyzing unstructured data*.
- Frawley, W., Piatetsky-Shapiro, G., Matheus, C., 1992. Knowledge discovery in databases: An overview. *AI Magazine* 13 (3).
- Freeman, C., Clark, J., Soete, L., 1982. *Unemployment and technical innovation: A study of long waves and economic development*. Pinter, Londres.
- Freeman, L., 1979. Centrality in social networks conceptual clarification. *Social Networks* 1 (3).
- Freeman, L., Bogartto, S., White, D., 1991. Centrality in valued graphs: A measure of betweenness based on network flow. *Social Networks* 13.

- Geuna, A., Martin, B., 2001. University research evaluation and funding: An international comparison. Minerva.
- Gibbons, M., 1997. La nueva producción de conocimiento. Pomares-Corredor, Madrid.
- Godin, B., 2000. Outline for a history of science measurement. Project on the History and Sociology of S&T Statistics - Working Paper.
- Godin, B., 2002. A note on the survey as an instrument for measuring science and technology.
- Godin, B., 2004. The who, what, why and how of s&t measurement. Project on the History and Sociology of S&T Statistics, Working paper.
- Granovetter, M., 1973. The strength of weak ties. *American Journal of Sociology* 78 (6).
- Gusmao, R., 2002. Nuevas estructuras de producción y difusión de indicadores de c&t: Un panorama internacional. *Cuadernos del CENDES* 51 (51).
- Hansson, F., 2010. Dialogue in or with the peer review? evaluating research organizations in order to promote organizational learning. *Science and Public Policy* 37 (4).
- Jariego, I., Martínez García, M., 1999. Cadenas migratorias y redes de apoyo social de las mujeres peruanas en Sevilla. *Demófilo* (29).
- Kamada, Kawai, 1989. An algorithm for drawing general undirected graphs. *Information Processing Letters* 31 (1).
- Kline, S., Rosenberg, N., 1986. The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth. National Academy Press, Ch. An overview of innovation, pp. 275–305.
- Kostoff, R., 2005. The seminal literature of nanotechnology research.
- Latour, B., Woolgar, S., 1979. *Laboratory Life: the Social Construction of Scientific Facts*. Sage, Los Angeles.
- Leydesdorff, L., Etzkowitz, H., 1996. Emergence of a triple helix of university industry government relations. *Science and Public Policy* 23 (5).
- Lin, N., Cook, K., Burt, R., 2001. *Social Capital. Theory and research*. Transaction Publishers.
- Lundvall, B.-A., 1992. *National systems of innovation*. Pinter, Londres.
- Maltrás Barba, B., 2003. *Los indicadores bibliométricos*. TREA, Madrid.
- Merton, R., 1942. *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations*. University of Chicago Press, Ch. The normative structure of science.
- Milgram, S., 1967. The small world problem. *Psychology today*.
- Molina, J. L., 2004. La ciencia de las redes. *Apuntes de Ciencia y Tecnología* (11).

- Molina, J. L., Muñoz, J. M., Domenech, M., 2002. Redes de publicaciones científicas: un análisis de la estructura de coautorías. *Redes - Revista Hispana para el análisis de redes sociales*.
- Mora, J.-G., 2002. Nuevas Miradas sobre la Universidad. Editorial de la Universidad de Tres de Febrero, Caseros, Ch. Indicadores para la información, la gestión y la financiación de las universidades.
- Moya Anegón, F., Vargas Quesada, B., Chinchilla Rodríguez, Z., Corera Álvarez, E., Muñoz Fernández, F., Herrero Solana, V., 2004. El Estado de la Ciencia. Principales indicadores de ciencia y tecnología. RICYT, Ch. Cocitación de clases y categorías: Proyecto Atlas de la Ciencia.
- Moya Anegón, F., Vargas Quesada, B., Chinchilla Rodríguez, Z., Corera Álvarez, E., Muñoz Fernández, F., Herrero Solana, V., 2007. Visualizing the marrow of science. *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 58 (14).
- Nelson, R., 1993. *National Innovation Systems. A comparative analysis*. Oxford University Press, New York.
- Nelson, R., Winter, S., 1982. *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Belknap Press of Harvard University.
- Newman, M., 2001. The structure of scientific collaboration networks. *PNAS* 92 (2).
- Nicholson, S., 2006. The basis for bibliomining: Frameworks for bringing together usage-based data mining and bibliometrics through data warehousing in digital library services. *Information Processing and Management* 3 (42).
- Norman, S., 1993. *Things That Make Us Smart*. Addison-Wesley Publishing Company.
- Noyons, E., 2003. Mapping excellence in science and technology across europe. nanoscience and nanotechnology.
- OCDE, 1981. *Science and Technology Policies for the 1980s*. OCDE, París.
- OCDE, 1990. *Manual para la medida e interpretación de la balanza de pagos tecnológicos - Manual BPT*. OCDE, París.
- OCDE, 1992. *New technologies in the 1990s: A socio-economic strategy*. TEP, París.
- OCDE, 1994. *Utilización de los datos de patentes como indicadores de ciencia y tecnología - Manual de Patentes*. OCDE, París.
- OCDE, 1995. *Manual on the measurement of human resources devoted to S&T - Canberra Manual*. OCDE, París.
- OCDE, 1997a. *Directrices propuestas para la recogida e interpretación de los datos sobre innovación tecnológica - Manual de Oslo*. OCDE, París.
- OCDE, 1997b. *The evaluation of scientific research: Selected experiences*.

- OCDE, 2000. Science, Technology and Innovation in the New Economy. OCDE, París.
- OCDE, 2002. Propuesta de norma práctica para encuestas de investigación y desarrollo experimental - Manual de Frascati. OCDE, París.
- OCDE, 2004. La ciencia y las políticas de innovación: Retos clave y oportunidades. OCDE, París.
- OCDE, 2005. A framework for biotechnology statistics. OCDE, París.
- OCDE, 2006. Directrices propuestas para la recogida e interpretación de los datos sobre innovación tecnológica - Manual de Oslo. OCDE, París.
- OCDE, 2007. Science Technology and Innovation Indicators in a Changing World. Responding to policy needs. OCDE, París.
- Okubo, Y., 1997. Bibliometric indicators and analysis of research systems: Methods and examples. STI Working Papers.
- Oldham, G., 2005. International scientific collaboration: Policy briefs, science and development network. SciDev.
- Ordoñez, J., Arango, M., 1998. La digitalización de la información: un espacio para nuevos enfoques académicos, científicos y de preservación de la cultura. Tablero de la SECAB 22.
- Pavitt, K., 1972. Técnicas analíticas en la política científica gubernamental. Futures.
- Perez Rasetti, C., 2010. Construcción de indicadores para el sistema de educación superior de iberoamérica/américa latina y el caribe. reflexiones para una propuesta. Observatorio Ciencia, Tecnología y Sociedad (CAEU/OEI).
- Polanyi, M., 1951. The logic of liberty: Reflections and rejoinders. University of Chicago Press, Chicago.
- Polino, C., López Cerezo, J. A., Fazio, M. E., Castelfranchi, Y., 2006. El Estado de la Ciencia. Principales indicadores de ciencia y tecnología. RICYT, Buenos Aires, Ch. Nuevas herramientas y direcciones hacia una mejor comprensión de la percepción social de la ciencia en los países del ámbito iberoamericano.
- Porter, A., Youtie, J., Shapira, P., Schoeneck, J., 2008. Refining search terms for nanotechnology. Journal of Nanoparticle Research 10.
- Price De Solla, D., 1963. Little science, big science. Columbia University Press, New York.
- Prim, R., 1957. Shortest connections networks and some generalizations. Bell System Technical Journal (36), 1389 – 1401.
- RICYT, 2001. Normalización de Indicadores de Innovación Tecnológica en América Latina y el Caribe. Manual de Bogotá. RICYT, Bogotá.

- RICYT, 2006. Manual de Lisboa. Pautas para la interpretación de los datos estadísticos disponibles y la construcción de indicadores referidos a la transición iberoamericano hacia la sociedad de la información. RICYT, Buenos Aires.
- RICYT, 2007. Manual de indicadores de internacionalización de la ciencia y la tecnología. Manual de Santiago. RICYT, Buenos Aires.
- S, W., K, F., 1999. Social Network Analysis. Methods and Applications. Cambridge University Press, Cambridge.
- Santesmases, M. J., 2009. Productividad, diplomacia y dependencia técnica: España en occidente durante el franquismo. Pensamiento Iberoamericano (5).
- Sanz Menéndez, L., 2003. Análisis de redes sociales: o cómo representar las estructuras sociales subyacentes. Apuntes de Ciencia y Tecnología (7).
- Sarewitz, D., 1996. Frontiers of illusion: science, technology, and the politics of progress. Temple University Press, Filadelfia.
- Schumpeter, J., 1912. The Theory of Economic Development. Harvard University Press, Cambridge.
- Sebastián, J., 2007. El Estado de la Ciencia. Principales indicadores de ciencia y tecnología. RICYT, Buenos Aires, Ch. El Manual de Santiago: una guía para medir la internacionalización de la I+D.
- Sirilli, G., 1998. Conceptualizing and measuring technological innovation. IDEA Paper Series.
- TwoCrows, 1999. Introduction to data mining and knowledge discovery. Two Crows.
- UE, 2000. Towards a european research area.
- UE, 2009. Summary of the impact assessment study of the era-net scheme under the sixth fp.
- UNESCO, 1984. Manual for statistics on scientific and technological activities.
- Valente, T., 1995. Network Models of the Diffusion of Innovations. Hampton Press.
- Velho, L., 1998. Indicadores de ciencia y tecnología: Estado del arte y perspectivas. Nueva Sociedad, Caracas, Ch. Indicadores científicos: Aspectos teóricos y metodológicos e impactos en la política científica.
- Vidal, J., 2001. ¿cómo se utiliza la información estadística en las instituciones de educación superior en España? Programa Institucional de Calidad - Universidad de León, España.
- Wagner, C., Leydesdorff, L., 2003. Mapping the network of global science: Comparing international co-authorships from 1990 to 2000.
- Wasserman, Faust, 1994. Social Network Analysis. Cambridge University Press.

Anexos

Anexo 1. Estrategia utilizada para la selección de publicaciones en nanotecnología

MolEnv-I (inclusive): (monolayer* or (mono-layer*) or film* or quantum* or multilayer* or (multi-layer*) or array* or molecu* or polymer* or (co-polymer*) or copolymer* or mater* or biolog* or supramolecul*)

Or

MolEnv-R (more restrictive): (monolayer* or (mono-layer*) or film* or quantum* or multilayer* or (multi-layer*) or array*)

And

Nano:* nano*

Or

Quantum: (quantum dot* OR quantum well* OR quantum wire*) NOT nano*

Or

Self-Assembly: (((SELF ASSEMBL*) or (SELF ORGANIZ*) or (DIRECTED ASSEMBL*)) AND MolEnv-I) NOT nano*

Or

Terms to include as Nano without other delimiters: ((molecu* motor*) or (molecu* ruler*) or (molecu* wir*) or (molecu* devic*) or (molecular engineering) or (molecular electronic*) or (single molecu*) or (fullerene*) or (coulomb blockad*) or (bionano*) or (langmuir-blodgett) or (Coulombstaircase*) or (PDMS stamp*)) NOT nano*

Or

Microscopy - terms to include but limit to the molecular environment: ((TEM or STM or EDX or AFM or HRTEM or SEM or EELS) or (atom* force microscop*) or (tunnel* microscop*) or (scanning probe microscop*) or (transmission electron microscop*) or (scanning electron microscop*) or (energy dispersive X-ray) or (X-ray photoelectron*) or (electron energy loss spectroscop*)) AND MolEnv-I) NOT nano*

Or

Nano-pertinent; Limit to the Molecular Environment - More Inclusively: (pebbles OR NEMS OR Quasicrystal* OR (quasi-crystal*)) AND MolEnv-I) NOT nano*

Or

Nano-pertinent; limit to the Molecular Environment - More Restrictive: (bio-sensor* or (sol gel* or solgel*) or dendrimer* or soft lithograph* or molecular simul* or quantum effect* or molecular sieve* or mesoporous material*) AND (MolEnv-R)) NOT nano*)

Additional Items in Nano Journals: fullerene* or ieee transactions on nano* or journal of nano* or nano* or materials science & engineering C - biomimetic and supramolecular systems (in JOURNAL title field) NOT nano*

Fuente: Porter et al (2008).

Anexo 2. Estrategia utilizada para la selección de patentes en nanotecnología

S (((NANOMETER# OR NANOMETRE# OR NM OR SUBMICRO?) AND (CHIP# OR ELECTRON? OR ENGINEERING OR DIAMETER OR SIZE# OR LAYER# OR SCALE OR ORDER OR RANGE OR DIMENSIONAL))/TI NOT (WAVELENGTH# OR ROUGHNESS OR ABSORB?)/TI)

S (((NANOMETER# OR NANOMETRE# OR NM OR SUBMICRO?)(A)(CHIP# OR ELECTRON? OR ENGINEERING OR DIAMETER OR SIZE# OR LAYER# OR SMALL? OR SCALE OR ORDER OR RANGE OR DIMENSIONAL)) NOT (WAVELENGTH# OR ROUGHNESS OR ABSORB?))

S (((NANOMETER# OR NANOMETRE# OR NM OR SUBMICRO?)(2W)(CHIP# OR ELECTRON? OR ENGINEERING OR DIAMETER OR SIZE# OR LAYER# OR SMALL? OR SCALE OR ORDER OR RANGE OR DIMENSIONAL)) NOT (WAVELENGTH# OR ROUGHNESS OR ABSORB?))

S (NANOPARTICL? OR NANO(W)PARTICL?) NOT (ABSORB? OR INK OR POLISH?)

S (NANOANALY? OR NANOBAR? OR NANOBOT# OR NANOCAGE# OR NANOCHANNEL? OR NANOCERAMIC OR NANOCHANNEL# OR NANOCHIP# OR NANOCIRCUITRY OR NANOCLUSTER# OR NANOCOATING# OR NANOCOLL? OR NANOCOMPUT? OR NANOCOMPOS? OR NANOCONDUCT? OR NANOCRY OR NANOCRYSTAL? OR NANODEVICE# OR NANODES)

S (NANODIMENSIONAL OR NANODISPERS? OR NANODOMAIN# OR NANODROP? OR NANOENGIN? OR NANOELECTR? OR NANOFABRIC? OR NANOFEATURE# OR NANOARRAY? OR NANOBIO? OR NANOREACT? OR NANOCATAL? OR NANOPHOTO? OR NANOHOL? OR NANOPIT# OR NANOPILLAR#)

S (NANOGAP# OR NANOGEL OR NANOGLASS? OR NANOGRAIN? OR NANOGRANULAR OR NANOGRID? OR NANOIMPRINT? OR NANOINDENTATION OR NANOINSTRUCTIONS OR NANOILLUMINATION)

S (NANOLAYER? OR NANOLITHO? OR NANOMACHIN? OR NANOMANIPULATOR# OR NANOMAGNET? OR NANOMATERIAL?)

S (NANOMECHANICAL OR NANOMEMBRANE OR NANOMETRIC? OR NANOMICR? OR NANOMOTOR# OR NANOPEPTID? OR NANOPHASE# OR NANOPHOTOLITHOGRAPHY OR NANOPIPEL? OR NANOPLOTTER# OR NANOPOWDER# OR NANOSENSOR# OR NANOSCALE? OR NANOARCHITECTURE OR NANOPATTERN OR NANOCAVITY)

S (NANOPOR? OR NANOPRINTING OR NANOPROBES OR NANOPROCESS? OR NANOPROGRAM? OR NANORIBBONS OR NANOROD# OR NANOROPE# OR NANOSCIEN? OR NANOSCOP? OR NANOSCRATCHING OR NANOSEMICONDUCTOR# OR NANOSENS? OR NANOSEQUENCER OR NANOSILIC? OR NANOSILVER OR NANOSIZ?)

S (NANOSPHER? OR NANOSPREADING OR NANOSTATS OR NANOSTEP? OR NANOSTRUCT? OR NANOSUBSTRATE OR NANOSUSPENSION

OR NANOSWITCH? OR NANOSYST? OR NANOTECHNOLOG? OR NANOTEXTUR? OR NANOTIPS OR NANOTRIBOLOGY OR NANOTROPES OR NANOTUB? OR NANOWIRE? OR NANOWHISK?)

S (NANOTOPOGRAPHY OR NANO CHEMISTRY OR NANORECOGNITION OR NANODOT OR NANOPUMP# OR NANOCAPS?)

S SCANNING PROBE MICROSCOP? OR SCANNING TUNNEL? MICROSCOP? OR SCANNING FORCE MICROSCOP? OR ATOMIC FORCE MICROSCOP? OR NEAR FIELD MICROSCOP?

S FUNCTIONALLY COATED SURFACE# AND NANO?

S (BIOCHIP OR BIOSENSOR) AND (A61# OR G01N OR C12Q)/IC

S DNA(W)CMOS

S (BACTERIORHODOPSIN OR BIOPOLYMER# OR BIOMOLECULE#)AND (G11# OR G02# OR G03# OR G06#)/IC

S BIOMOLECULAR TEMPLAT? OR VIRUS(2A)ENCAPSULATION OR MODIFIED VIRUS

S NANO? AND IMPLANT?

S (PATTERN? OR ORGANIZED) AND (BIOCOMPATABILITY OR BLOOD-COMPATABILITY OR BLOOD COMPATABILITY OR CELL SEEDING OR CELLSEEDING OR CELL THERAPY OR TISSUE REPAIR OR EXTRACELLULAR MATRIX OR TISSUE ENGINEERING OR BIOSENSOR# OR IMMUNOSENSOR# OR BIOCHIP OR CELL ADHESION)

S MICRO?(2A)NANO? S NANO(W)(ARCHITECT? OR CERAMIC OR CLUSTER# OR COATING# OR COMPOSIT## OR CRYSTAL?)

S NANO(W)(DEVICE# OR DISPERSE# OR DIMENSIONAL OR DISPERSION# OR DROP# OR DROPLET OR ENGINEERING OR ENGINEERED OR ELECTRODES OR ELECTRONIC#)

S NANO(W)(FABRICATED OR FABRICATION OR FILLER# OR GEL OR GRAIN? OR IMPRINT OR IMPRINTED OR LAYER#)

S NANO(W)(MACHINE# OR MANIPULATOR# OR MATERIAL# OR MECHANICAL OR MEMBRANE OR METRIC?)

S NANO(W)(PHASE# OR POWDER# OR PORE# OR PORO? OR PRINTING OR ROD# OR SCALAR)

S NANO(W)(SIZE? OR SPHER# OR STRUCTURE# OR STRUCTURING OR SUSPENSION OR SYSTEM# OR TECHNOLOG?)

S NANO(W)(TEXTUR? OR TIPS OR TROPES OR TUB? OR WIRE? OR WHISK?)

S ATOMIC(W)LAYER# OR MOLECULAR TEMPLATES OR SUPRAMOLECULAR CHEMISTRY OR MOLECULAR MANIPULATION

S QUANTUM DEVICE# OR QUANTUM DOT# OR LANGMUIR BLODGETT OR QUANTUM WIRE?

S SINGLE ELECTRON? TUNNELING OR MOLECUL? ENGINEER? OR MOLECUL? MANUFACTUR?

S MOLECUL? SELF ASSEMBL? OR ULTRAVIOLET LITHOGRAPHY OR PDMS STAMP OR SOFT LITHOGRAPHY

S FULLEREN? OR MOLECULAR MOTOR OR MOLECULAR BEACON OR NANO ELECTROSPRAY OR ION CHANNELS OR MOLECULE CHANNELS

S LAB(3W)CHIP

S (NANOFILT? OR NANOFIB? OR NANOFUID?) AND (C0## OR A61# OR B0##)/IC

S (ELECTRON BEAM WRITING) AND (H01L OR H01J)/IC

S MONOLAYER AND (G03G OR H01J)/IC

S THIOL AND H01L/IC

S (B82B OR A61K009-51 OR G01N013-10 OR G12B021)/ICS L1-L39

Fuente: Noyons et al (2003).

Anexo 3. Palabras clave utilizadas para la selección de publicaciones en biotecnología

biotechnology
DNA sequencing
DNA synthesis
DNA amplification
RNA sequencing
RNA synthesis
RNA amplification
genomics
pharmacogenomics
gene probes
genetic engineering
gene expression profiling
antisense technology
peptide sequencing
protein sequencing
peptide synthesis
protein engineering
proteomics
biodesulphurisation
bioremediation
biofiltration
phytoremediation
gene vector
gene therapy
viral vectors
bioinformatics
nanobiotechnology
transcriptomics
subunit vaccine
recombinant protein
virus like particle

recombinant antigen
metabolic engineering
gene delivery
siRNA
PCR
RT-PCR
miRNA
Microarray DNA
Microarray protein

Fuente: Elaboración propia a partir de consultas con expertos.

Anexo 4. Estrategia utilizada para la selección de patentes en biotecnología

Códigos IPC	Títulos
A01H 1/00	Processes for modifying genotypes
A01H 4/00	Plant reproduction by tissue culture techniques
A61K38/00	Medicinal preparations containing peptides
A61K 39/00	Medicinal preparations containing antigens or antibodies
A61K 48/00	Medicinal preparations containing genetic material which is inserted into cells of the living body to treat genetic diseases; Gene therapy
C02F 3/34	Biological treatment of water, waste water, or sewage: characterised by the micro-organisms used
C07G 11/00	Compounds of unknown constitution: antibiotics
C07G 13/00	Compounds of unknown constitution: vitamins
C07G 15/00	Compounds of unknown constitution: hormones
C07K 4/00	Peptides having up to 20 amino acids in an undefined or only partially defined sequence; Derivatives thereof
C07K 14/00	Peptides having more than 20 amino acids; Gastrins; Somatostatins; Melanotropins; Derivatives thereof
C07K 16/00	Immunoglobulins, e.g. monoclonal or polyclonal antibodies
C07K 17/00	Carrier-bound or immobilised peptides; Preparation thereof
C07K 19/00	Hybrid peptides
C12M	Apparatus for enzymology or microbiology
C12N	Micro-organisms or enzymes; compositions thereof
C12P	Fermentation or enzyme-using processes to synthesise a desired chemical compound or composition or to separate optical isomers from a racemic mixture
C12Q	Measuring or testing processes involving enzymes or micro-organisms; compositions or test papers therefor; processes of preparing such compositions; condition-responsive control in microbiological or enzymological processes
C12S	Processes using enzymes or micro-organisms to liberate, separate or purify a pre-existing compound or composition processes using enzymes or micro-organisms to treat textiles or to clean solid surfaces of materials
G01N 27/327	Investigating or analysing materials by the use of electric, electro-chemical, or magnetic means: biochemical electrodes

Códigos IPC	Títulos
G01N 33/53*	Investigating or analysing materials by specific methods not covered by the preceding groups: immunoassay; biospecific binding assay; materials therefore
G01N 33/54*	Investigating or analysing materials by specific methods not covered by the preceding groups: double or second antibody: with steric inhibition or signal modification: with an insoluble carrier for immobilising immunochemicals: the carrier being organic: synthetic resin: as water suspendable particles: with antigen or antibody attached to the carrier via a bridging agent: Carbohydrates: with antigen or antibody entrapped within the carrier
G01N 33/55*	Investigating or analysing materials by specific methods not covered by the preceding groups: the carrier being inorganic: Glass or silica: Metal or metal coated: the carrier being a biological cell or cell fragment: Red blood cell: Fixed or stabilised red blood cell: using kinetic measurement: using diffusion or migration of antigen or antibody: through a gel
G01N 33/57*	Investigating or analysing materials by specific methods not covered by the preceding groups: for venereal disease: for enzymes or isoenzymes: for cancer: for hepatitis: involving monoclonal antibodies: involving limulus lysate
G01N 33/68	Investigating or analysing materials by specific methods not covered by the preceding groups: involving proteins, peptides or amino acids
G01N 33/74	Investigating or analysing materials by specific methods not covered by the preceding groups: involving hormones
G01N 33/76	Investigating or analysing materials by specific methods not covered by the preceding groups: human chorionic gonadotropin
G01N 33/78	Investigating or analysing materials by specific methods not covered by the preceding groups: thyroid gland hormones
G01N 33/88	Investigating or analysing materials by specific methods not covered by the preceding groups: involving prostaglandins
G01N 33/92	Investigating or analysing materials by specific methods not covered by the preceding groups: involving lipids, e.g. cholesterol

Fuente: OCDE (2005)