

avanzados en este sector se puede mencionar a Brasil, Argentina, México y Chile. Cabe mencionar que prácticamente en todos estos países la elaboración de planes estratégicos impulsados por el Estado ha sido esencial para promover el desarrollo de la biotecnología.

Por ejemplo, la experiencia de Brasil (Recuadro 3) muestra que la audacia de apostar de forma temprana y decidida por el sector (tanto a nivel de desarrollo de capacidades de investigación como en la comercialización de productos transgénicos) así como la

voluntad política de promover la biotecnología como parte integral y prioritaria de la estrategia nacional de desarrollo, de incluir el desarrollo de productos biotecnológicos que respondan a demandas sociales nacionales y de dar respuesta a obstáculos legislativos han sido elementos fundamentales en el desarrollo de la biotecnología. No obstante, Brasil al igual que muchos otros países aún se enfrenta a múltiples dificultades - especialmente el desarrollo del sector privado - para asegurar el retorno económico y social de la biotecnología.

Recuadro 3. La apuesta por la biotecnología en Brasil

En los últimos años, Brasil ha destacado en el desarrollo de capacidades de investigación y enseñanza de postgrado en biotecnología. En 2008, Brasil contaba con más de 30 programas de postgrado en biotecnología en un amplio número de áreas, con 790 grupos de investigación y 6844 investigadores (de los cuales 3899 doctores). El incremento de la capacidad de investigación se ha visto reflejado en resultados tanto a nivel de patentes como de publicaciones. La oficina de patentes de Estados Unidos (USPTO) ha otorgado 33 patentes en biotecnología a titulares brasileños (periodo 2000-2007) y, en el 2007, las instituciones científicas brasileñas publicaron 1137 artículos en biotecnología —casi cuatro veces más que las argentinas.

Brasil despunta también en la comercialización de cultivos genéticamente mejorados. En el 2009, Brasil se convirtió en el segundo mayor productor de cultivos de OGM (21.4 millones de hectáreas plantadas o 15% del mercado global). La expansión de la comercialización de OGM ha tenido lugar a pesar de que la fuerte oposición de algunos segmentos de la sociedad civil ha frenado el desarrollo de su política a favor de la liberación de OGM y el marco jurídico. El apoyo al más alto nivel político a través de medidas favorables y políticas explícitas ha sido crucial en varios momentos. Sin embargo, todos los cultivos genéticamente mejorados han sido desarrollados por empresas multinacionales. Brasil, al igual que el resto de países latinoamericanos, no ha transferido comercialmente ninguna tecnología propia.

Brasil cuenta, desde el 2007, con una Política Nacional de Biotecnología y un Comité Nacional de Biotecnología que coordina e implementa dicha política y asegura su armonización con otras políticas nacionales. La Política Nacional de Biotecnología identifica objetivos estratégicos (aquellos con mayor potencial de mercado), prioritarios (de interés estratégico nacional / con alto impacto social), y de frontera tecnológica dentro de las cuatro áreas sectoriales (salud humana, agropecuaria, industria y ambiental). La biotecnología es también una de las áreas prioritarias de la Política Industrial, Tecnológica y de Comercio Exterior (2004) y de la Política de Desarrollo de la Producción (2008). Dicha prioridad se refleja en los distintos instrumentos de financiación pública.

El gobierno brasileño ha financiado de forma temprana, activa y explícita la investigación en biotecnología. Por ejemplo, la Fundación para la Investigación de Sao Paulo (FAPESP) apostó a finales de los 90 por la investigación en biotecnología, invirtiendo 12 millones de dólares en la secuenciación del código genético del patógeno *Xylella Fastidiosa*. Las herramientas y experiencia acumuladas sirvieron posteriormente para la investigación sobre la caña de azúcar a través de dos empresas: Allelyx (primera gran empresa de agrobiotecnología creada en el 2002) y CanaVialis (empresa experta en el cultivo convencional de la caña de azúcar). Monsanto compró ambas compañías, en el 2008, por 290 millones de dólares.

Desde el 2001, existe un fondo sectorial para la biotecnología y, durante el periodo 2000-2007, se destinaron más de 290 millones de dólares (fondos sectoriales y otros) a unos 1800 proyectos en el área de biotecnología. A pesar de la importancia de los fondos destinados, la alta dispersión de los mismos (salvo excepciones como en el campo de la salud) ha impedido un impulso más substancial. Otros instrumentos tales como la política de uso del poder de compra público en el área de salud (2008) y el fomento del desarrollo del capital de riesgo también promueven la financiación de la I+D en biotecnología.

Brasil participa en los principales convenios internacionales (en las áreas de comercio, biodiversidad, bioseguridad y propiedad intelectual) que afectan el desarrollo de la biotecnología. A nivel nacional cuenta con una ley sobre la propiedad industrial (1996), una ley sobre variedades vegetales (1997), y una ley de bioseguridad (2005, y su posterior

(cont.)

Recuadro 3. La apuesta por la biotecnología en Brasil (cont.)

modificación del 2007). El Consejo Nacional de Bioseguridad (CNBS) y la Comisión Técnica Nacional sobre Bioseguridad (CTNBio) velan por la aprobación de OGM y derivados. CTNBio (establecida en 1995) se ocupa de la aprobación técnica del uso, cultivo o comercialización de OGM. Sus resoluciones han sido a menudo llevadas ante los tribunales. El CNBS asiste al Presidente de la República en la formulación e implementación de la política nacional de bioseguridad, y evalúa las implicaciones socio-económicas y los intereses nacionales relacionados con la aprobación de OGM para uso comercial.

El sector privado de la biotecnología también ha experimentado un desarrollo notable aunque aún se encuentra en una fase temprana. En el 2006, el sector empleaba a 462 profesionales en biotecnología y 554 técnicos. En el 2008 había 71 empresas dedicadas a la biotecnología en Brasil, altamente concentradas en los Estados de Sao Paulo y Minas de Gerais. El 75% de dichas empresas son micros y pequeñas, un tercio son incubadas, y un gran número son de reciente creación. El nivel de patentamiento de las empresas es aún bastante bajo.

El escaso número de patentes realizadas por brasileños y por empresas de biotecnología, el incipiente conjunto de empresas y su limitada interacción con universidades y centros de investigación, la ausencia de políticas complementarias al apoyo a la I+D en biotecnología (tales como apoyo a la certificación y la calidad, a la internacionalización de las empresas y a la gestión de su propiedad intelectual), son algunas de las limitaciones actuales del sector biotecnológico.

Fuente: Biotecsur (2008a, b, c), Ceballos Rios (2006), Fundação Biominas (2007), ISAAA (2009); Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil, MOITI (2008), Nature (2010), OECD (2009a), <http://www.grupobiotecnologia.com.ar/verarticulo.asp?id=24>.

C. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE INNOVACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA EN EL PERÚ

1. Función de producción

Perú está considerado como uno de los países con mayor biodiversidad del mundo (CONAM 2008). Tal abundancia y diversidad de material genético le da al país una importante ventaja comparativa para el desarrollo de la biotecnología, aunque esa ventaja es sólo potencial. Su efectivización depende, en primer lugar, de la capacidad del país para poner en práctica políticas de conservación y aprovechamiento sostenible de esa diversidad. En segundo lugar, como ya se señaló, el desarrollo y la aplicación de esta tecnología requieren dominar un amplio espectro de otros aspectos de la cadena de investigación, producción, comercialización y logística.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, no puede hablarse estrictamente de la existencia de un sector de biotecnología en el Perú. Lo que existe es una base importante de recursos naturales y biodiversidad, algunas capacidades de investigación y desarrollo en el área, y un conjunto de sectores tradicionales que son actuales o potenciales usuarios de innovaciones biotecnológicas: agricultura, ganadería, piscicultura, minería, industria alimenticia, salud, entre otros.

En esos sectores hay unas cuantas empresas usuarias de biotecnología, como las cerveceras y las de productos lácteos, dedicadas a la biotecnología tradicional. También existen algunas empresas pertenecientes al sector agrícola (cultivo de tejidos vegetales) y unas pocas relacionadas con la salud humana (diagnósticos, vacunas) que hacen uso de la biotecnología. Pero prácticamente en todos los casos, el nivel de innovación biotecnológica y la inversión en I+D de estas empresas es muy bajo.

La inversión en biotecnología en el Perú es muy limitada en comparación con otros países de la región. Aunque no existen cifras completas sobre la inversión en biotecnología en el Perú, una valoración de la inversión realizada en el 2005 en biotecnología agropecuaria (Falck et al. 2009) muestra que el Perú invirtió en términos absolutos y relativos mucho menos que otros países de la región (cuadro 2).

1.1. Infraestructura

La infraestructura física, en cuanto a espacio en universidades e instituciones es suficiente para el desarrollo de un programa de biotecnología. Pero, tal y como señala un informe realizado en el 2004 (INCAGRO 2008⁴), hay deficiencias en cuanto al equipamiento de dichas instalaciones (ver recuadro 5).

Dicho informe también resaltaba la existencia de un número de laboratorios de investigación bien equipados. Por ejemplo, cabe destacar el laboratorio

Cuadro 2. Inversiones en biotecnología agropecuaria en Perú y países seleccionados, 2005

	Perú	Argentina	Brasil	Chile	México
Total inversión (millones USD)	0,93	8,2	68,8	3,31	24,7
Sector privado (millones USD)	0,17	3,4	13,7	0,26	24,7
Sector público (millones USD)	0,76	4,8	55,0	3,04	n.d.
Inversiones por billón de PNB (miles de USD por billón de PNB)	17	31	111	41	42

Fuente: Falck et al. 2009.

Valores aproximativos basado en encuestas realizadas a las principales organizaciones de cada país.

n.d.: no disponible

gemelo instalado en la Universidad Peruana Cayetano Heredia e idéntico al laboratorio en el que trabaja el Dr. Carlos Bustamante, investigador peruano, profesor de la Universidad de Berkeley (Estados Unidos) y promotor de esta iniciativa. A través de este laboratorio gemelo, la UPCH realizará trabajos de investigación avanzada en biología molecular y biofísica y participará en investigaciones de la Universidad de Berkeley. El laboratorio está equipado con tecnología de punta, tales como un microscopio de fuerza atómica y un microscopio de pinzas ópticas, pionera en América Latina. Un primer trabajo de investigación estudia una enzima para detectar nuevos antibióticos contra una variedad de la tuberculosis que es resistente a los medicamentos existentes.

Cabe señalar, el proyecto en ejecución para establecer un Centro Nacional de Biotecnología Agropecuaria y Forestal que está desarrollando el Instituto para Innovación Agraria (INIA) (recuadro 4). La primera fase de esta iniciativa (2 millones de dólares) está dirigida a dar capacidad al INIA como organismo competente en el control de OGM, está financiando el equipamiento para detectar OGM, así como a realizar estudios de factibilidad del centro. La segunda fase, que espera contar con unos 30 millones de USD a través de financiamiento externo, desarrollará el centro con el objetivo de que este pueda brindar servicios a universidades y a otros actores del sector.

Recuadro 4. Centro Nacional de Biotecnología Agropecuaria y Forestal (CNBAF)

El CNBAF se propone como el núcleo de I+D en biotecnología aplicada a resolver problemas en agricultura, ganadería y silvicultura, en el desarrollo de nuevas variedades y su propagación acelerada, en la creación de hatos de ganado con características sobresalientes, en obtener soluciones contra estreses abióticos y bióticos que afectan a los cultivos y crías, en desarrollar plantas y animales transgénicos cuando sean necesarios, en crear medios para estudiar y definir la presencia y ubicación de genes útiles en genomas de plantas, animales y microorganismos de interés económico y en aplicaciones varias relacionadas con otras actividades inherentes a su función.

Entre las funciones del CNBAF se encuentran:

- Desarrollar en asociación con productores, industria e instituciones de investigación biotecnológica, las actividades de investigación y los servicios para la aplicación de la biotecnología generada, incluyendo las actividades de capacitación y transferencia tecnológica necesaria.
- Conducir, coordinar y ejecutar las actividades de investigación, desarrollo tecnológico y aplicación comercial en biotecnología en las Estaciones Experimentales Agrarias del INIA, así como en otras zonas instituciones parte del Sistema Nacional de Innovación Agraria.
- Desarrollar biotecnología y promover su uso como herramienta útil para la conservación, caracterización, mejora, aprovechamiento sostenible y puesta en valor, de los recursos agropecuarios y forestales, así como para la producción de semillas y reproductores.
- Fomentar el desarrollo y realizar investigación básica y aplicada en biotecnología animal y vegetal.

El proyecto se encuentra en fase de ejecución, y está siendo coordinado con el apoyo del IICA.

Fuente: Vivanco W. (2009) *El INIA y el Centro Nacional de Biotecnología Agropecuaria y Forestal. Primera Conferencia Nacional de Biotecnología. Mayo 2009, Lima.*

Recuadro 5. Hersil S.A. - Innovación peruana en productos naturales funcionales

Hersil es un laboratorio peruano que realiza una actividad innovadora en el desarrollo de alimentos funcionales y nutracéuticos basados en la biodiversidad del Perú. Con un volumen de ventas nacionales entorno a los 35 millones de dólares y una participación del 2.4% del mercado nacional, Hersil no puede competir en el desarrollo de nuevos productos farmacéuticos (que requieren altas inversiones) y ha centrado su actividad de I+D en el desarrollo de productos funcionales y nutracéuticos (productos naturales)

Sus principales campos de actividad son la fabricación de productos farmacéuticos (85% de los ingresos), los servicios de producción de productos farmacéuticos para terceros (10% de los ingresos), y la producción de productos naturales, es decir, el desarrollo de productos en base a plantas oriundas del Perú (no supera el 2% de los ingresos). Hersil desarrolla actividades de I+D en esta tercera línea de actividad. Dichas actividades de innovación se realizan gracias a los fondos de innovación que permiten la realización de estudios pre-clínicos y clínicos y a través de dos joint ventures (con la familia Schuler y la Universidad Nacional Agraria La Molina). Entre los productos desarrollados(*) se incluyen la maca gelatinizada y en tabletas, uña de gato y el desarrollo de hercampuri, sangre de grado, chanca piedra y pasuchaca.

Hersil cuenta con 627 trabajadores, de los cuales 6 se dedican a actividades de I+D. Este equipo de seis personas se dedica principalmente al control de calidad y la supervisión de procesos y en menor medida a las actividades de I+D propiamente dichas donde los recursos son insuficientes. El presupuesto para I+D se estima aproximadamente en 100,000 dólares anuales en los últimos tres años y proviene en buena parte de fuentes externas (fondos para proyectos concursables). Hersil ha invertido unos 200,000 USD en universidades locales para financiar investigaciones para el estudio de plantas medicinales, en particular la validación de sus principios activos. Los ingresos obtenidos no han logrado cubrir aún la inversión realizada en investigación.

La empresa cuenta con varios equipos de última generación para la determinación de principios activos pero estos no son para uso exclusivo de productos naturales. La empresa no realiza actividades de vigilancia tecnológica e invierte fundamentalmente en proyectos de bajo riesgo. La primera experiencia innovadora (maca gelatinizada) no fue patentada y ha sufrido la competencia nacional de productos de baja calidad. Actualmente, Hersil tiene un producto (Warmi - producto en base a plantas oriundas del Perú para el tratamiento de la menopausia) en trámite de patente.

Debido a la competencia desleal en el mercado nacional y a una conciencia limitada por parte del consumidor peruano sobre productos farmacéuticos, Hersil ha orientado la venta de sus productos naturales hacia mercados externos. Si bien existe una asociación gremial de productos naturales (Instituto Peruano de Productos Naturales), actualmente no hay un apoyo consolidado al sector.

La preponderancia de la industria farmacéutica, la limitada capacidad técnica para identificar nuevos compuestos, la carencia de un marco legal (reglamentos, normas técnicas) para complementos nutricionales, y la ausencia de una masa crítica de empresas innovadoras en el sector son algunos de los factores que limitan la capacidad nacional para realizar estudios exploratorios y desarrollar nuevos productos comerciales basados en la biodiversidad peruana.

Fuente: Gallástegui et al. (2009), entrevista Octubre 2009, www.hersil.com.pe

(*) Nota: algunos de los efectos atribuidos, incluyen: Maca (*Lepidium meyenii* Walpers): Reducción síntomas menopáusicos, energizante; Uña de gato (*Uncaria tomentosa*): inmunoestimulante, antiinflamatorio y citostático (detienen el crecimiento y desarrollo de células tumorales); Hercampuri (*Gentiana alba*): colagogo, colerético, hipocolesterolémico y diurético; Sangre de grado (*Croton lechleri*): cicatrizante y antiséptico; Chancapiedra (*Phyllanthus niruri*): antiespasmódico; Pasuchaca (*Geranium deilsianum* Knuth): hipoglucemiante. Para más detalles ver: www.hersil.com.pe

1.2. Empresas

Tal y como se mencionaba anteriormente, en el Perú no hay un sector privado de la biotecnología. Existen algunas empresas usuarias de biotecnología dedicadas a la biotecnología tradicional pero el nivel de innovación biotecnológica y la inversión en I+D de estas empresas es muy bajo. Por ejemplo, para el 2005, la inversión privada en biotecnología agropecuaria se estimó en tan solo 170,000 USD (Falck et al., 2009). Además, el número de técnicas utilizadas

en el sector privado, dentro del ámbito de la biotecnología agropecuaria, es mucho más limitado que en el sector público, aunque se concentran en técnicas modernas (ver cuadro 3).

El recuadro 5 muestra un ejemplo aislado de una empresa peruana en el área farmacéutica que realiza innovaciones en base a productos naturales. El ejemplo resume tres puntos definidores del contexto innovador peruano:

a) los esfuerzos empresariales en I+D son aislados y tímidos,

- b) los fondos concursables han facilitado dicha actividad de I+D y la colaboración universidad -empresa pero no han sido suficientes para generar una masa crítica de investigaciones que revolucionen un sector, y
- c) hay una limitada experiencia en el aprovechamiento de la propiedad intelectual aunque se observa una mayor conciencia sobre oportunidades en este campo.

1.3. Organismos generadores de conocimiento

El Perú cuenta con algunas capacidades de I+D en biotecnología y limitada capacidad para comercializar dicha investigación.

La producción científica del Perú en biotecnología es escasa, aún en comparación con otros países de la región. En el 2008, los tres países líderes en biotecnología de Latinoamérica (Brasil, México y Argentina) realizaron respectivamente 1405, 400 y 295 publicaciones; mientras que para el mismo año, el Perú contaba sólo con 33 publicaciones en la materia (OEI-CAEU 2009, ver gráfico 1).

Asimismo, los datos correspondientes a patentes en biotecnología publicadas en la OMPI en el periodo 2000-2008 confirman dicha evidencia, registrándose

para el caso de Perú un total de 8 patentes, muy por debajo de las más de 200 patentes de Brasil y Argentina (OEI-CAEU, 2009).

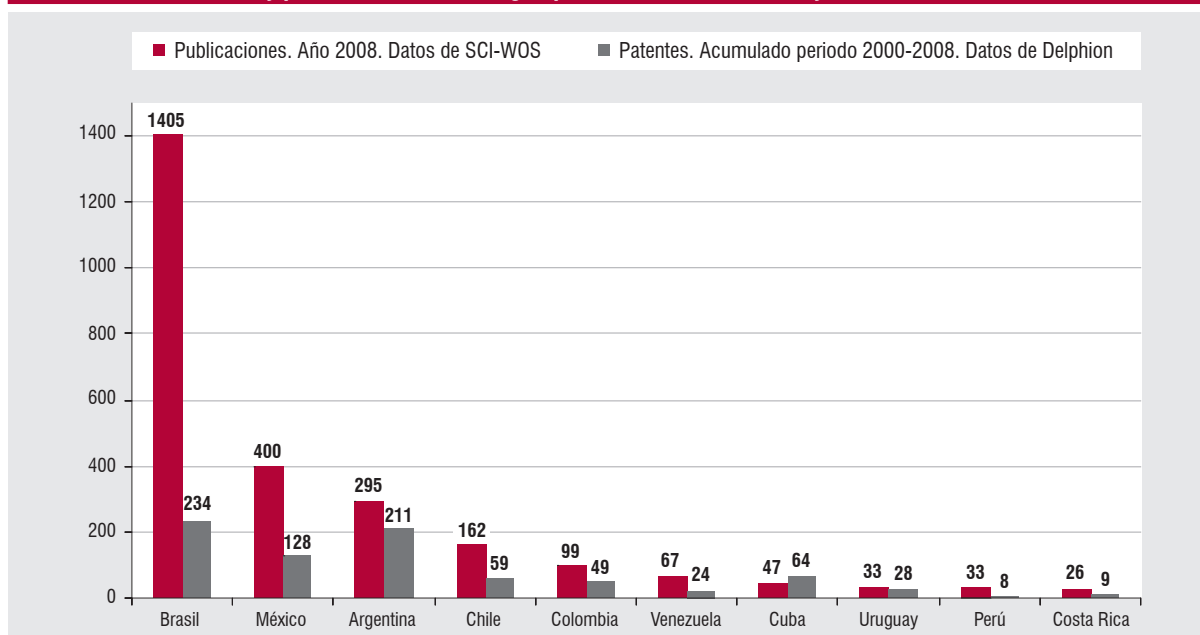
La investigación biotecnológica en el Perú se desarrolla principalmente en el área agropecuaria (Roca 2003, Falck-Zepeda et al. 2009), donde destacan las actividades de conservación y caracterización de recursos fitogenéticos en raíces y tubérculos, plantas medicinales, frutales, hortalizas y leguminosas y plantas ornamentales. Otros grupos de investigación se encuentran en las áreas de biofarmacéutica, industrial, ambiental y biofertilizantes, y nutraceutica.

Dentro del área agropecuaria, los principales productos a los que se aplica la biotecnología son raíces y tubérculos (papa) (36%), micro y otros organismos (levaduras y hongos) (19%), y otros animales, camélidos, animales y especies acuáticas (10%) (Falck-Zepeda et al. 2009).

En el Perú, predomina la biotecnología tradicional. Por ejemplo, si bien se utilizan en el sector agropecuario un gran número de técnicas de biotecnología comparable a otros países de la región, el 75% de las técnicas utilizadas son tradicionales (Falck Zepeda et al., 2009). En particular destaca la utilización de técnicas tradicionales de cultivo de tejidos (ver cuadro 3).

La investigación en transgénicos es muy limitada. Actualmente hay un proyecto de investigación para

Gráfico 1. Publicaciones y patentes en biotecnología, países de América Latina y el Caribe, 2000- 2008



Fuente: OEI-CAEU, 2009.

Cuadro 3. Número de técnicas de biotecnología utilizadas en total (y por el sector privado)*, 2006-2007

	Perú	Argentina	Brasil	Chile
Técnicas de cultivos de células y de tejidos	70	29 (3)	78	46 (4)
Técnicas de marcadores moleculares	48 (1)	40 (3)	60	19
Técnicas de diagnóstico	22 (2)	45 (20)	79	24 (5)
Total Biotecnología tradicional	140 (3)	114 (26)	217	89 (9)
Técnicas de ADN recombinante	16 (2)	38 (8)	35	31
Técnicas de transformación genética	9	44 (11)	36	20
Técnicas genómicas funcional y estructural	22 (4)	21 (7)	...	17
Total Biotecnología moderna	47 (6)	103 (26)	71	68
Otros / Información no disponible	11 (3)	22 (5)	...	23 (1)
Total	198 (12)	239 (57)	288	180 (19)

Fuente: Falck-Zepeda et al (2009).

*= el número de técnicas utilizadas por el sector privado aparece entre paréntesis.

desarrollar un papayo resistente al virus de la mancha anular que está llevando a cabo el INIA.

A continuación se presentan algunas de las principales líneas de investigación en biotecnología con las que cuenta el Perú.

Institutos de investigación públicos

A la falta de un programa concreto para la promoción y el desarrollo de la biotecnología se suma el hecho de que los centros de investigación estatales relacionados con el aprovechamiento de los recursos genéticos (INIA, IMARPE, IIAP, INS) deben lidiar cotidianamente con las limitaciones impuestas por sus escasísimos presupuestos. Ello a pesar de que reúnen personal competente y desarrollan algunas iniciativas bien orientadas. A título de ejemplo pueden mencionarse:

- INIA: caracterización de cohortes de alpaca con microsatélites; desarrollo de Papayo resistente al virus de la mancha anular, creación del Centro Nacional de Biotecnología Agropecuaria y Forestal (ver recuadro 3).
- IIAP: sexaje del paiche; estudios poblacionales de peces amazónicos.
- IMARPE: banco de germoplasma de organismos acuáticos, estudio de la estructura genética de los bancos de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*).
- Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas: diagnóstico molecular de virus asociado al cáncer de cuello uterino.

Universidades

Fuera del ámbito de los institutos públicos de investi-

gación hay una serie de grupos y proyectos de investigación que merecen ser destacados:

- Universidad Peruana Cayetano Heredia: The Potato Genome Sequencing Consortium, resistencia a parásitos en alpacas, protección a enfermedades infecciosas de alpacas, vacunas, caracterización de cohortes de alpacas, búsqueda de genes y marcadores, mancha blanca en langostino, población de camarones.
- Universidad Nacional Agraria La Molina: transferencia de embriones; estudio molecular de recursos genéticos vegetales nativos, fusión de protoplastos y transformación; bacterias fijadoras de nitrógeno y biofertilizantes; biotecnología de enzimas producidas por hongos (celulasas, xilanasas, pectinasas y peroxidasas).
- Universidad Nacional Mayor de San Marcos: enfermedades de camélidos, estudios poblacionales y evolutivos. Generación de marcadores genéticos para evaluar la biodiversidad de recursos marinos; bioconversión de desechos agroindustriales y producción fermentativa de biopesticidas.
- Universidad San Martín de Porres: proyecto Genoma Alpaca, generación de marcadores genéticos para evaluar la biodiversidad de recursos marinos.
- Universidad Nacional Federico Villarreal: nutrición de peces, marcadores en concha de abanico.
- Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco: aislamiento de hongos comestibles nativos, hongos biocidas y procesos de fermentación con células inmovilizadas.
- Universidad Católica de Santa María, Arequipa: biorremediación; ciclodextrinas y producción de edulcorantes.

- Universidad Nacional de Piura: biorremediación ex situ de suelos; biopesticidas.
- Universidad Ricardo Palma: conservación in vitro de plantas medicinales y aromáticas, micropropagación, y caracterización molecular.

También hay algunos desarrollos interesantes en biominería. En particular, la UPCH participa en proyectos internacionales con instituciones académicas de otros países de la región así como de Europa sobre biolixiviación y sobre biosorción. Asimismo, hay algunas explotaciones mineras en el Perú en las que se aplica la biominería, como por ejemplo biooxidación de oro en Tamboraque, biolixiviación de cobre en Tintaya, Cerro Verde, Toquepala, y pantanales en Orcopampa y Antamina.

Cabe mencionar también la Cátedra CONCYTEC en Biotecnología Animal, la cual está orientada al desarrollo de una plataforma biotecnológica basada en microarreglos de ADN para la captura de valor en

animales y plantas de importancia económica (en particular de la alpaca y la maca), y surgió a partir de un acuerdo de cooperación entre la UPCH y la empresa Hersil S.A.. Cuenta con tres investigadores principales, dos becarios de maestría y un becario de doctorado.

A pesar de estos interesantes avances e iniciativas aisladas, no puede decirse que el Perú tenga la capacidad de investigación que se requiere para promover un desarrollo sostenido de la biotecnología en el país en los próximos años.

Al respecto, cabe citar el informe “Línea base para la implementación del Programa Nacional en Biotecnología Agroindustrial en el Perú”, elaborado por Gutiérrez Correa y Estrada Jiménez, y publicado por INCAGRO en 2008 (ver recuadro 6). Si bien el informe fue realizado en 2004, buena parte de sus conclusiones siguen siendo válidas.

Recuadro 6. La investigación en biotecnología en el Perú. Informe “Línea base para la implementación del Programa Nacional en Biotecnología Agroindustrial en el Perú”

A continuación se ofrecen las principales conclusiones del informe “Línea base para la implementación del Programa Nacional en Biotecnología Agroindustrial en el Perú”, elaborado por Gutiérrez Correa y Estrada Jiménez, y publicado por INCAGRO en 2008.

1. La infraestructura (edificios, área disponible, etc.) existente en las instituciones evaluadas es suficiente para el desarrollo de un programa de biotecnología. No corresponde a la cantidad de especialistas disponibles en el momento. Los servicios y facilidades de trabajo, incluidos los servicios básicos son insuficientes. La carencia es aún mayor cuando nos referimos al acceso telefónico o a Internet.
2. El equipamiento en la mayoría de las instituciones es básico y tiene por lo menos entre 5 y más de 10 años de antigüedad, en promedio, requiriéndose de urgente renovación y reparación. Salvo algunas excepciones en el área de biología molecular. Si consideramos el potencial de nuestra diversidad biológica y nuestros problemas agropecuarios más urgentes, que pueden ser enfrentados con alternativas biotecnológicas, el equipamiento disponible es insuficiente. Por lo demás, es menester informar la presencia de laboratorios bien equipados pero con un personal de bajo nivel académico, así como de otros muy mal equipados con personal muy bien calificado.
3. Existe déficit de personal calificado en la mayoría de instituciones y de programas de perfeccionamiento. Menos del 50% de los laboratorios son dirigidos por post graduados, quedando los demás muy limitados en su capacidad creativa e innovadora para proponer líneas de mayor competitividad.
4. El mayor número de instituciones involucradas en biotecnología corresponde al sector académico no existiendo convenios o contratos con el sector productivo (con excepción del Laboratorio de Microbiología y Biotecnología de la Universidad Nacional Agraria La Molina) [...]. La publicación de resultados en revistas indexadas es casi nula (exceptuando al Centro Internacional de la Papa, la Universidad Privada Cayetano Heredia y el Laboratorio de Microbiología y Biotecnología de la Universidad Nacional Agraria La Molina), probablemente debido a la falta de resultados académicamente sólidos o a la falta de “formación y cultura” para escribir y difundir resultados.
5. Las líneas de investigación desarrolladas con mayor frecuencia son el cultivo de tejidos vegetales para producción de semilla y la caracterización de recursos genéticos. No se encontró trabajos de cultivos de tejidos vegetales relacionados a transformación o producción de metabolitos (salvo el trabajo del Laboratorio de Microbiología y Biotecnología de la Universidad Nacional Agraria La Molina en microorganismos) o de biología molecular relacionado a mejoramiento asistido o ingeniería genética; aunque existe el personal y la infraestructura en la Universidad Privada Cayetano Heredia, así como en bioinformática.

(cont.)

Recuadro 6. La investigación en biotecnología en el Perú. Informe “Línea base para la implementación del Programa Nacional en Biotecnología Agroindustrial en el Perú” (cont.)

6. Varias instituciones han declarado trabajar con técnicas moleculares e ingeniería genética en plantas, pero realmente solo el Centro Internacional de la Papa tiene un enfoque sistémico en relación al proceso. [...] En general los trabajos están fundamentalmente relacionados a la caracterización de los recursos genéticos.
7. Las inversiones en biotecnología son escasas o casi nulas. Las relaciones de cooperación están sobre todo basadas en el suministro de material genético o capacitación que no se traduce en el retorno del personal calificado. Esta situación, unida a la falta de conocimiento de la legislación vigente, es de alto riesgo para nuestros recursos genéticos y los derechos de propiedad intelectual de la nación.
8. No existe un programa nacional de biotecnología ni planes institucionales. Las actividades se desarrollan en base a iniciativas y gestiones individuales.

Fuente: Gutiérrez Correa M. y Estrada Jiménez, R. (2004).

1.4. Organismos difusores de conocimiento

En cuanto a la formación académica en el campo biotecnológico, en el Perú existen sólo dos facultades que imparten la carrera de grado en Biotecnología (la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y la Universidad Católica Santa María de Arequipa). En las demás universidades la biotecnología se dicta como un curso u orientación de las carreras de Biología o Genética. A nivel de postgrado, existe como maestría en la Universidad Nacional de Trujillo (Maestría en Biotecnología Agroindustrial y Ambiental) y en la

Universidad Nacional del Santa, y como doctorado en la Universidad Nacional Agraria La Molina (Programa Doctoral en Ciencias e Ingeniería Biológicas). Estos programas, aunque son consecuencia de meritorios esfuerzos, son muy recientes y carecen de acreditaciones internacionales.

La cantidad de doctores con la que cuenta el Perú (ver cuadro 4) es sumamente baja. Al respecto, el siguiente cuadro muestra la evolución de los matriculados, egresados y graduados de doctorado en ciencias e ingeniería. Si bien la matrícula en el área de ciencias exactas y naturales ha crecido significativamente en

Cuadro 4. Matriculados, egresados y graduados de Doctorado en Ciencias e Ingeniería, 2004 – 2008

Área	Condición	2004	2005	2006	2007	2008
Ciencias Sociales y Humanidades	Matriculados	119	172	363	275	327
	Egresados	0	0	12	0	24
	Graduados	2	1	5	2	4
Ciencias Exactas y Naturales	Matriculados	35	26	320	71	360
	Egresados	0	1	0	31	108
	Graduados	0	1	0	16	37
Ciencias de la Salud y Psicología	Matriculados	102	193	345	144	349
	Egresados	0	8	52	36	18
	Graduados	3	0	3	18	33
Ingeniería	Matriculados	9	14	69	57	70
	Egresados	0	0	0	3	0
	Graduados	0	0	0	3	5
Agropecuaria, Veterinaria y Afines	Matriculados	0	0	0	5	7
	Egresados	0	0	0	0	0
	Graduados	0	0	0	0	0

Fuente: Guerra García, R., (2009), Estudio del Perú: “Los programas de apoyo a la formación de postgrado en ciencias e ingeniería”.

los últimos años, en 2008 se graduaron solamente 37 doctores en toda el área, que además de biología incluye otras disciplinas que no tienen relación con la biotecnología.

El Programa Especial de Formación de Científicos a nivel de Doctorado se establece dentro del marco del Plan Nacional Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Competitividad y el Desarrollo Humano al 2021 como una herramienta para alcanzar el Objetivo Específico 3: Mejorar, cuantitativa y cualitativamente, las capacidades humanas en CTI, con énfasis en una formación de excelencia en el postgrado y en el ámbito técnico especializado.

Para lograr este objetivo es necesario llevar adelante algunas acciones que permitan mejorar los estándares doctorales, priorizar la formación doctoral en las áreas de ciencia y tecnología, y realizar un seguimiento de las instituciones y de los doctores formados⁵. Estas acciones, sin embargo, están siendo llevadas a cabo sólo de manera fragmentaria, como iniciativas prácticamente individuales de algunas instituciones del sistema como el CONCYTEC o el FINCyT.

2. Función reguladora

Las múltiples necesidades de intercambio para poder desarrollar productos biotecnológicos hace que la protección y gestión de la propiedad intelectual sean herramientas particularmente importantes para el desarrollo de la biotecnología.

El Perú cuenta con un conjunto de disposiciones para proteger la propiedad intelectual relacionada con la biotecnología (ver recuadro 7). Los descubrimientos, procesos biológicos, plantas y razas de animales no son patentables, y existe evidencia de que los genes no son patentables (Falck et al. 2009). Las variedades de plantas y microorganismos sí son susceptibles de ser protegidos.

No obstante, existe una incertidumbre generalizada sobre lo que es patentable o no. Un mayor desarrollo de la biotecnología en el Perú exigirá una clarificación y amplia diseminación del alcance del marco legal así como el desarrollo de la capacidad de INDECOPI - la entidad competente para otorgar patentes y certificados de obtentor de variedades vegetales- en ésta área donde actualmente cuenta únicamente con un especialista.

Recuadro 7. Propiedad intelectual y la biotecnología en el Perú

Patentes

- País miembro de la Organización Mundial del Comercio
- Convenio de París para la protección de la Propiedad Industrial, Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) (1995)
- Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT), OMPI (2009)
- Decisión 486 Régimen Común de Propiedad Industrial /Comisión de la Comunidad Andina (2000) y sus modificaciones (Decisión 632 y 689)

Variedades vegetales

- Decisión 345 Régimen Común de Protección a los Derechos de los Obtentores de Variedades Vegetales/ Comisión de la Comunidad Andina (1993)
- Decreto Supremo No 008-96-ITINCI - Reglamento de protección a los derechos de los obtentores de variedades vegetales
- Ley N° 28126 Sanciona las infracciones a los derechos de los Obtentores de Variedades Vegetales protegidas (2003)
- UPOV - Perú no es miembro de la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV) pero el consejo de la UPOV ya ha confirmado la conformidad de la decisión 345 y del proyecto de Decreto Supremo que establece un nuevo Reglamento de Protección a los Derechos de los Obtentores de Variedades Vegetales con el Acta de 1991 de la UPOV

Microorganismos

- Tratado de Budapest sobre el Reconocimiento Internacional del Depósito de Microorganismos a los fines del Procedimiento en materia de Patentes, OMPI (2009)

Acceso a recursos genéticos y protección a los conocimientos tradicionales

- Decisión 391 de la Comisión del Acuerdo de Cartagena sobre acceso a recursos genéticos (1996)
- Ley N° 27811, Régimen de Protección de los conocimientos colectivos de los pueblos indígenas vinculados a los recursos biológicos (2002) y sus modificaciones (Ley N°28187 y Decreto Legislativo N° 1029)

Fuente: Gutiérrez Correa M. y Estrada Jiménez, R. (2004).

Cabe destacar también las limitadas capacidades en materia de gestión de la propiedad intelectual y la ausencia de políticas de propiedad intelectual en instituciones de investigación y universidades. Por ejemplo, el INIA -el principal centro de transferencia de tecnología agrícola- no cuenta con una política de propiedad intelectual que respalde el desarrollo de sus actividades de investigación en biotecnología (Ferro et al., 2010).

Un aspecto de gran importancia para el desarrollo de la biotecnología es la regulación en materia de bioseguridad. Es necesario contar con un sistema de bioseguridad creíble, que base sus decisiones en el conocimiento científico de los riesgos y su manejo. El Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad (PCB) es un marco normativo internacional que permite el desarrollo y la aplicación de la biotecnología moderna, reconciliando los intereses del comercio internacional y la necesidad de proteger la salud humana y el medio ambiente. Para implementar el PCB se requiere:

- Establecer el marco estructural nacional de bioseguridad (MENB).
- Desarrollar capacidades en análisis, gestión y comunicación del riesgo.
- Investigar para determinar los posibles impactos de los organismos vivos modificados (OVM) en condiciones tropicales.
- Desarrollar el Centro de Intercambio de Información sobre Bioseguridad (CIISB) para prestar asistencia a las Partes en la aplicación de sus disposiciones y facilitar el intercambio de información y experiencia en relación con los OVM.

En el Perú se han realizado algunos avances en la implementación del marco nacional sobre bioseguridad. La ley 27104 de Prevención de Riesgos derivados del Uso de la Biotecnología (aprobada en 1999 y reglamentada en el 2002 (Decreto supremo N°108-2002-PCM)) norma la seguridad en el uso de la biotecnología moderna siguiendo los preceptos del Convenio de Diversidad Biológica y del Protocolo de Cartagena. Sin embargo, a pesar de que la aprobación de esta ley se produjo hace 10 años, hasta ahora no ha podido ser implementada debido a que los reglamentos sectoriales (en agricultura (cuyo órgano competente es el INIA), en salud (DIGESA) y en recursos hídricos (Vice-Ministerio de Pesquería)) aún no han sido aprobados⁶.

En el Perú hay una alta sensibilidad de la opinión pública en materia de bioseguridad y la utilización de OGM. En los últimos años, se han presentado diver-

sos proyectos de ley relacionados con la regulación de la biotecnología moderna y la bioseguridad que proponen desde un etiquetado especificando el contenido de OGM hasta una moratoria o prohibición total de la utilización de OGM (MINAM, 2009b). A dichas opiniones diversas se le suma la falta de una política nacional de biotecnología y una visión concertada por parte del Ejecutivo sobre el rol que la biotecnología debe tener en el Perú. Esta morosidad e incertidumbre ha hecho que la inversión y la innovación en biotecnología en el país se hayan visto limitadas por la falta de procedimientos y regulaciones oficiales.

Por otro lado, aunque ya se ha implementado el CIISB en el marco del Ministerio del Ambiente y desde el 2009 existe una Política Nacional de Bioseguridad, los principales órganos supervisores no cuentan en la actualidad con la infraestructura específica ni con el personal suficiente para realizar sus funciones de seguridad (MINAM, 2009a). Es necesario fortalecer la capacidad técnica y de investigación en bioseguridad para que el Perú pueda cumplir con el objetivo de contar en 2011 con un MENB factible, operativo, transparente y de excelencia, en consonancia con las prioridades nacionales de desarrollo y las obligaciones internacionales.

3. Función de gestión y financiamiento

Entre los instrumentos para promover la biotecnología en el Perú destaca el financiamiento directo a la I+D. Aunque no existe un fondo específico para la investigación en biotecnología, los proyectos de investigación se han financiado a través de los distintos fondos generales (Fondecyt, Fincyt) o sectoriales. El inconveniente de estos fondos, como promotores de la biotecnología, es que no tienen líneas de financiación para proyectos a largo plazo. Cabe notar además que el FINCYT no ha incluido el campo de la salud dentro de sus prioridades de financiación.

Muchos de los proyectos en biotecnología se han podido desarrollar gracias a la cooperación internacional. La cooperación internacional es particularmente importante en el Perú ya que permite complementar la inversión nacional y promueve la internacionalización de la comunidad científica, posibilitando la difusión del conocimiento y el desarrollo de actividades conjuntas.

Para que la cooperación internacional sea efectiva, esta requiere ser considerada desde una visión estratégica, evitando esfuerzos dispersos y apostando por

programas de mayor envergadura con socios capaces de reforzar y complementar las capacidades y los objetivos peruanos.

El Acuerdo Intergubernamental en Ciencia y Tecnología de 1980, que dio origen al Centro Argentino-Brasileño de Biotecnología (CABBIO) en 1986, es un buen ejemplo de cooperación regional en ciencia y tecnología, que ha permitido nuclear grupos de trabajo (oficiales y privados) de dos países, mediante proyectos con correlato productivo.

Para el 2004 (Menvielle, 2004) CABBIO había facilitado el desarrollo de 86 proyectos binacionales en una gran variedad de temas relevantes⁷. También se había construido un banco de recursos genéticos, un banco binacional de germoplasma y un banco de cepas microbianas. Se estableció así mismo la Biblioteca Electrónica de Ciencia y Tecnología dando solución al grave problema del acceso de los investigadores argentinos a la bibliografía internacional. Por último, cabe destacar que CABBIO también ha contribuido a la formación de una gran cantidad de especialistas de toda América Latina.

4. Función de prospectiva y diseño de planes, programas e instrumentos

En el Perú, la preocupación pública por el desarrollo de la biotecnología es bastante reciente y aún no ha dado lugar a una estrategia nacional en la materia.

En cuanto a planes estratégicos, el Plan Nacional Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Competitividad y el Desarrollo Humano 2006-2021 asigna a la biotecnología una importancia destacada, estableciendo un Programa Nacional de Biotecnología y poniendo énfasis en la valorización industrial de la biodiversidad y en el aprovechamiento de los recursos genéticos (ver recuadro 8).

Más recientemente, en el marco del plan 2006-2021, el CONCYTEC elaboró, para un período más acotado, el Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica para el Desarrollo Productivo y Social Sostenible 2009-2013. El mismo define a la biotecnología como una de las áreas transversales del conocimiento a priorizar, con las siguientes líneas de acción:

- Conservación de la diversidad biológica.
- Aplicación de técnicas para el estudio del genoma de las especies de la biodiversidad.
- Desarrollo de nuevas variedades agropecuarias e

hidrobiológicas de gran productividad, que permitan afrontar los retos del cambio climático, y sean menos intensivas en el uso de agroquímicos.

- Mejoramiento de la calidad de productos agro-exportables, de pan llevar y recursos pesqueros.
- Mejoramiento genético de especies marinas y de agua dulce, libres de patógenos.
- Bioprospección de compuestos activos.
- Biorremediación para la descontaminación de relaves mineros, terrenos contaminados, mar, ríos, lagos y polución de ciudades, incluyendo investigación, desarrollo, estudios piloto y escalamiento.
- Desarrollo de tecnologías de ingeniería metabólica y evolución dirigida para el diseño y construcción de biorefinerías.
- Desarrollo de sistemas de producción de energía basados en biotecnología.
- Producción de vacunas.

Sin embargo, estos planes carecen de prioridades claras y alineadas con otras prioridades productivas e institucionales y no disponen de recursos y mecanismos efectivos para su implementación.

Otra iniciativa destacable fue el proyecto de Ley de Promoción de la Biotecnología Moderna, que declara “de interés nacional” la promoción y el desarrollo de la biotecnología moderna. Lo más destacado es que estableció incentivos, especialmente tributarios, para las empresas que inviertan en actividades de I+D en biotecnología moderna. Este proyecto se aprobó en el Congreso en julio de 2006 pero fue observado por el Poder Ejecutivo dado que contenía algunas incongruencias con acuerdos internacionales en los temas de propiedad intelectual. A pesar de que una vez realizadas las correcciones necesarias para salvar esas incongruencias se volvió a presentar a principios del año 2007 para su aprobación definitiva, el proyecto fue devuelto a la Comisión, donde todavía permanece sin que se consiga llegar a un acuerdo sobre su destino.

Una suerte semejante corrió el Plan Nacional de Biotecnología e Ingeniería Genética, una iniciativa del Consorcio Estatal CEPLAN – PRODUCE – CONCYTEC que tenía como principales objetivos la definición de una política de Estado estable y continua, y el desarrollo de un sistema nacional de biotecnología para reunir y coordinar sus instituciones, estimular las inversiones y tratar de incrementar la competitividad de las empresas. El Plan establecía estrategias para lograr el desarrollo de la biotecnología, basadas en el desarrollo empresarial, la formación

Recuadro 8. La Biotecnología en el Plan Nacional Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Competitividad y el Desarrollo Humano 2006-2021

El Plan Nacional Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Competitividad y el Desarrollo Humano 2006-2021 asigna a la biotecnología una importancia destacada, estableciendo un Programa Nacional de Biotecnología y poniendo énfasis en la valorización industrial de la biodiversidad y en el aprovechamiento de los recursos genéticos. El Plan expresa lo siguiente:

“Las ciencias de la vida y las biotecnologías (biología celular y molecular, ingeniería genética, genómica) y la bioinformática, tienen una importancia estratégica para el desarrollo nacional pues se relacionan con cinco de los siete sectores productivos prioritarios seleccionados y tres de los cuatro sectores sociales en el Plan.

En el sector agrario y agroindustrial, es posible el mejoramiento genético de los cultivos y su protección fitosanitaria, la adaptación de cultivos al estrés abiótico (aridez, salinidad, bajas temperaturas), la mejora de la calidad de los alimentos y la caracterización y valorización industrial de la biodiversidad nativa. En el sector pesca y acuicultura, permiten el mejoramiento genético, la sanidad y la reproducción de las especies hidrobiológicas, así como la caracterización, conservación y mejora del pool genético de las especies nativas promisorias. En el sector forestal, es posible aplicar el cultivo de tejidos para la producción de semillas y plantones libres de virus por micropropagación de variedades mejoradas genéticamente, y la mejora de la calidad de la madera y frutos por ingeniería genética. En el sector minero-metalúrgico, la biotecnología permite desarrollar tecnologías limpias de lixiviación bacteriana para la recuperación de metales (cobre, oro, etc.). En el sector de la energía, pueden obtenerse combustibles líquidos (etanol y biodiesel) y gaseosos (biogás) para diversas aplicaciones industriales y rurales. Asimismo, por medio de la acción enzimática de bacterias puede facilitarse la recuperación secundaria y terciaria de petróleo y gas natural.

En el sector salud humana, las ciencias de la vida y las biotecnologías permiten el desarrollo de kits de diagnóstico y vacunas para enfermedades tropicales y endémicas, los xenotransplantes, la clonación de tejidos, la terapia génica, la producción de fármacos a partir de plantas medicinales nativas, y la producción de medicamentos biológicos por medio de bacterias y otros organismos vivos, entre otras aplicaciones. En los sectores vivienda y medio ambiente, la biotecnología permite desarrollar y aplicar tecnologías de biotratamiento de residuos urbanos e industriales, así como de biotratamiento y biorremediación para la gestión sostenible de residuos minero-metalúrgicos.”

Fuente: Plan Nacional Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Competitividad y el Desarrollo Humano 2006-2021, Sección III. Áreas Prioritarias. CONCYTEC, Lima, Abril de 2006.

de capacidades y el financiamiento internacional. No obstante, este plan tampoco llegó a aprobarse oficialmente y actualmente se encuentra archivado.

El Perú cuenta desde mayo de 2009 con una Política Nacional del Ambiente (Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM), que ofrece una orientación sobre el uso de la biotecnología. Entre sus objetivos se incluye “Asegurar mecanismos para el uso responsable y seguro de la biotecnología y sus productos derivados” así como “Garantizar la protección de la salud humana, el ambiente, y la diversidad biológica durante el desarrollo, uso y aplicación de bienes y servicios de la biotecnología moderna en el Perú”. Esta política ofrece algunas orientaciones generales sobre el uso de la biotecnología apelando a una utilización responsable.

Existe también una propuesta de Plan Nacional de Acción Ambiental 2010-2021 (febrero 2010) que incluye dos objetivos estratégicos en el área de bioseguridad: (1) establecer zonas libres de transgénicos (bajo la responsabilidad de los gobiernos regionales)

y (2) controlar los riesgos de la biotecnología moderna (bajo la responsabilidad general de Ministerio de Agricultura y de SENASA).

En resumen, existe en el Perú un consenso claro sobre la importancia de la bioseguridad pero no sobre la biotecnología moderna ni el rol que ésta debe jugar en el desarrollo del país.

En cuanto a la labor de prospectiva, cabe mencionar un estudio de prospectiva (solicitado por el INIA y en fase de ejecución) sobre la biotecnología en el sector agropecuario y forestal del Perú. El propósito de este estudio es conocer el estado del arte en materia de biotecnología y proporcionar las pautas para la asignación de recursos.

Se han realizado también algunos estudios relevantes sobre las capacidades de investigación en biotecnología en el Perú⁸, que, aunque no son estudios de prospectiva tecnológica ofrecen insumos importantes para el diseño de planes y programas de apoyo al sector.

5. Función de cohesión y ejecución

Como mencionábamos anteriormente, en el Perú no existe un consenso sobre el rol que la biotecnología moderna debe jugar en el desarrollo del país. La ausencia de una agenda nacional en biotecnología representa un freno para las inversiones y el desarrollo del sector.

Dada la alta sensibilidad de la sociedad peruana hacia la biotecnología, se deberá continuar trabajando con los distintos sectores de la sociedad, del sector privado, y del Gobierno para conseguir el desarrollo de un consenso social sobre el rol de la biotecnología que incluya a los principales agentes involucrados, entre ellos al Estado. El convencimiento al más alto nivel de la importancia del desarrollo de la biotecnología para el país será imprescindible para fomentar un diálogo serio y eficaz.

D. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La biotecnología es actualmente una actividad industrial en continuo crecimiento a nivel mundial, con un alto valor en el mercado, una fuerte inversión en I+D y una gran dinámica innovativa.

Un elemento importante para la innovación en biotecnología es la biodiversidad. El Perú tiene una ventaja comparativa por ser uno de los países del mundo con mayor biodiversidad. Sin embargo, se trata de una ventaja de tipo estático, que hasta ahora no ha sido aprovechada.

El primer aspecto que es necesario considerar es la falta de un marco de políticas que garantice una continuidad en la acción a medio y largo plazo. Si bien existen formulaciones generales sobre ciencia, tecnología e innovación que le dan a la biotecnología un rol importante, dichas formulaciones no se han traducido en planes y políticas concretas dotadas de recursos, más allá de casos aislados. Se hace necesario desarrollar una agenda nacional en biotecnología ligada a una estrategia de desarrollo nacional, que establezca prioridades, y que guíe la asignación de recursos públicos, privados y académicos.

Se hace necesario también completar el marco regulatorio, en particular, establecer los reglamentos sectoriales, para poder avanzar en el desarrollo de las actividades de biotecnología.

El desarrollo biotecnológico en el Perú es escaso a nivel público, y mucho más a nivel privado. Los grupos de investigación existentes y los proyectos de investigación que llevan adelante son más bien esfuerzos aislados. Cabe destacar también

Cuadro 5. Principales fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas del sector de la biotecnología en el Perú

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Infraestructura básica suficiente • Experiencia en biotecnología agropecuaria y de la salud • Marco legal para la protección de la propiedad intelectual desarrollado 	<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de visión a largo plazo y de una agenda nacional en biotecnología • Escala limitada de los recursos financieros disponibles • Escaso desarrollo biotecnológico, particularmente a nivel privado • Limitada formación de postgrado • Limitada vinculación entre la investigación y los sectores usuarios, así como limitada (capacidad de) transferencia y comercialización de las investigaciones • Ausencia de reglamentación sectorial en bioseguridad • Limitadas capacidades en materia de gestión de la propiedad intelectual • Impacto reducido de la cooperación internacional • Equipamiento obsoleto
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Recursos naturales y biodiversidad del Perú • Sectores tradicionales potenciales usuarios de innovaciones biotecnológicas • Experiencia positiva de los fondos concursables • Cooperación internacional y regional 	<ul style="list-style-type: none"> • Apropiación de recursos de la biodiversidad peruana por empresas extranjeras • Alta sensibilidad de la opinión pública y política en el área de biotecnología

limitaciones en cuanto a la transferencia de dichas investigaciones.

La oferta de formación académica es pobre, lo cual agrava la situación al no haber suficiente cantidad de profesionales capacitados para desarrollar innovaciones biotecnológicas en el Perú. La Cátedra CONCYTEC es una iniciativa adecuada pero de una escala insuficiente, que debería fortalecerse con mayores recursos para apoyar a distintos grupos de investigación y formación en el área y ser complementado con programas que mejoren el nivel y el acceso de estudiantes a la formación de postgrado, que promuevan la formación de doctorado y post-doctorado en el exterior y el retorno al país de los investigadores.

Asimismo, es necesario fortalecer la vinculación entre la investigación científica y los sectores usuarios de biotecnología, en particular los sectores primarios (agricultura, ganadería, piscicultura, silvicultura, minería) y los sectores industriales (alimentos, textil). En esta tarea de vinculación deben jugar un papel destacado los organismos especializados, como el INIA, el IIAP, el ITP, los CITEs, y los programas de financiamiento de proyectos.

Recomendaciones

Como resultado de este análisis, se proponen las siguientes recomendaciones:

1) Definir una política y posición clara y consistente respecto a la biotecnología

- Como paso previo, será necesario continuar invirtiendo en el diálogo y la construcción de un mayor consenso social sobre el rol de la biotecnología para el Perú.
- Desarrollar una Política Nacional de Biotecnología que proporcione una visión estratégica consensuada e incluya los aspectos jurídicos-reglamentarios necesarios para proporcionar un marco estable para el desarrollo de la biotecnología en el país⁹.
- Según los resultados de un ejercicio de prospectiva en las diferentes áreas de biotecnología y de un amplio diálogo, desarrollar un Programa Nacional de Biotecnología que establezca un conjunto de acciones coordinadas, específicas, y susceptibles de ser evaluadas; asigne responsabilidades para su ejecución; y establezca los recursos financieros y humanos necesarios para llevarlas a cabo.

2) Reforzar las capacidades de investigación y formación:

- Incrementar la financiación a la investigación en las áreas prioritarias
- Establecer oportunidades de financiación para proyectos de más largo plazo y, en el caso del FINCYT, abrir el concurso a propuestas en el área de salud.
- Facilitar la financiación y adquisición de equipamiento para los laboratorios de investigación
- Promover la acreditación internacional de los cursos de maestría y doctorado en el área de la biotecnología.

3) Completar el actual marco regulatorio y reforzar las capacidades para su implementación y para la gestión de la propiedad intelectual

- Apremiar la aprobación de la reglamentación sectorial de bioseguridad en agricultura.
- Elaborar el anteproyecto de reglamentación sectorial de bioseguridad en salud y en recursos hídricos.
- Reforzar las capacidades en materia de bioseguridad de los organismos sectoriales competentes
- Promover el desarrollo de una política de propiedad intelectual en los principales institutos de investigación pública (p. ej. INIA)
- Reforzar las capacidades de análisis y asesoramiento en propiedad intelectual en el área de biotecnología.

4) Estimular la transferencia del conocimiento y productos biotecnológicos así como la comercialización y el desarrollo económico del sector

- Facilitar la comercialización de la investigación desarrollando políticas de propiedad intelectual en institutos de investigación e universidades
- Continuar fomentando la financiación de proyectos conjuntos entre universidades y empresas
- Fomentar la participación de organizaciones clave en la transferencia de tecnología (CITES, INIA, ONGs etc.) en los proyectos de investigación
- Establecer un conjunto de incentivos para la creación y/o atracción de empresas biotecnológicas

5) Reforzar la cooperación internacional a través de alianzas estratégicas con instituciones de alto nivel en sectores clave, tanto en las áreas de investigación e infraestructura como en el área de procesos de bioseguridad.

NOTAS

¹ Basado en Bisang et al. (2009)

² Convenio sobre la Diversidad Biológica, 1992

³ Basado en Bisang et al. (2009) y en Ernst & Young (2009)

⁴ Si bien el informe fue realizado en 2004, los comentarios recibidos durante las entrevistas muestran que buena parte de sus conclusiones siguen siendo válidas.

⁵ Ver Gutiérrez Correa (2008)

⁶ En la actualidad, el reglamento sectorial en el campo agropecuario está en un proceso avanzado de consulta pública.

⁷ Por ejemplo: en anticuerpos monoclonales, maíz transgénico resistente a herbicidas o plagas, estudios fenotípicos de cancro cítrico para determinar variaciones de interés comercial, o enzimas industriales para la clarificación de jugo de fruta. También se han realizado avances para lograr una vacuna triple, el ajo libre de virus y los crustáceos peneidos. Investigadores de ambos países desarrollaron un método de biolixiviación para conservar el 100% del manganeso y aumentar la recuperación de plata del 30% al 60%.

⁸ Ver Roca (2003), Gutiérrez Correa y Estrada Jiménez (2004), Falck-Zepeda et al. (2009)

⁹ Reconsiderar, por ejemplo, el proyecto de ley de promoción de la biotecnología moderna.



La nanotecnología



A. INTRODUCCIÓN¹

La nanotecnología² es la disciplina que se ocupa de la creación de materiales funcionales, dispositivos y sistemas a través del control de la materia a nivel atómico y molecular. En esta escala aparecen fenómenos únicos, originados en la naturaleza cuántica de la materia, que pueden ser utilizados para nuevas aplicaciones. Es una actividad fuertemente interdisciplinaria que involucra, entre otras, a la física, la química, la biología, la medicina y la ingeniería.

Desde los años 80, la nanotecnología se ha desarrollado rápidamente sobre la base de la aparición de nuevas capacidades de observación y manipulación de la materia a nivel de átomos y moléculas, del exponencial crecimiento de las capacidades computacionales, del desarrollo de nuevos métodos de cálculo teórico y de los avances de la química. 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 área destacada 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 (ver sección B).

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. La nanotecnología es una tecnología de aplicación general que ha comenzado a producir cambios en distintos sectores industriales, incluyendo las áreas biomédica, farmacéutica,

cosmética, informática, aeronáutica, automotriz, textil, del caucho, agrícola, alimentaria, de la construcción, la industria química y de materiales, etc. En el mercado existen ya unos 500 productos que usan nanotecnología: protectores solares, cosméticos, aditivos alimentarios, plaguicidas, textiles, barnices, recubrimientos y membranas que se aplican a artículos del hogar, chips electrónicos, sensores y dispositivos para diagnóstico. 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 la actualidad.

Además, es importante tener en cuenta la creciente y acelerada convergencia entre nanotecnología, biotecnología, informática y ciencias cognitivas (NBIC, como se las conoce), que augura transformaciones que afectarán de manera drástica la propia condición humana, su relación con la naturaleza y con el entorno social.

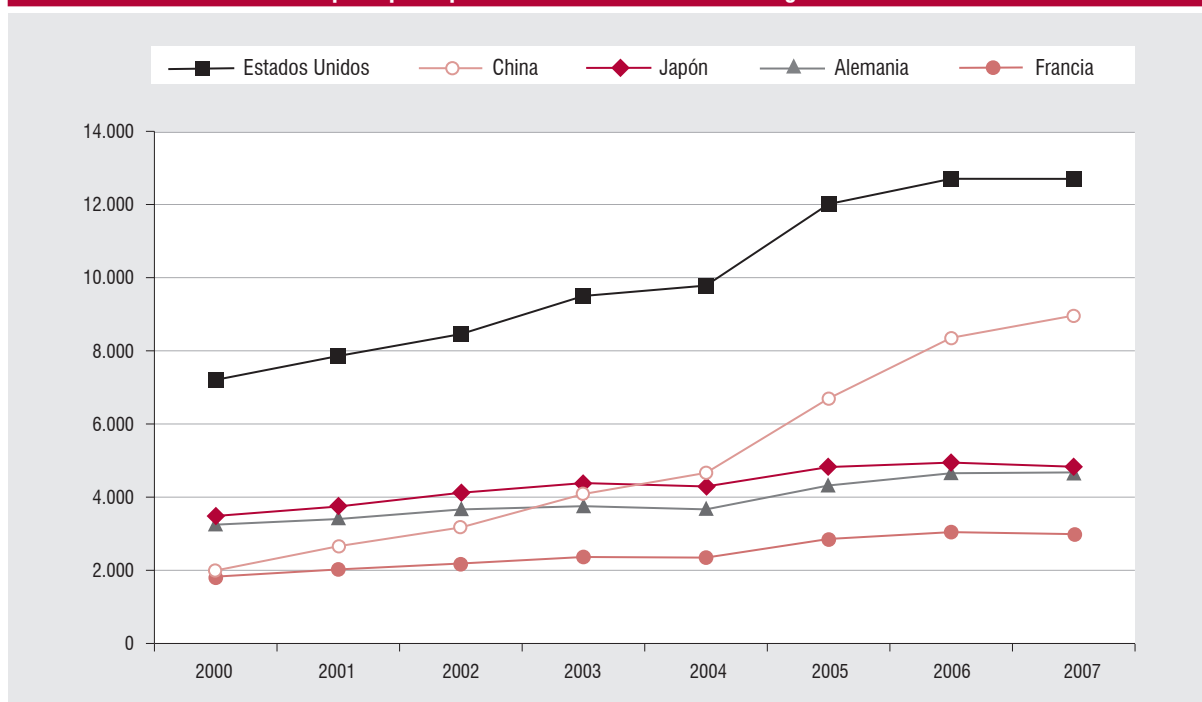
B. PANORAMA MUNDIAL Y LA EXPERIENCIA LATINOAMERICANA

A nivel mundial, la nanotecnología ha experimentado un crecimiento exponencial. Se estima que durante el año 2007, el gasto mundial de I+D en nanotecnología alcanzó los 13.500 millones de dólares y el 54% de los fondos fueron aportados por el sector privado (BET 2009). El cuadro 1 muestra las inversiones realizadas en los últimos años por los principales líderes mundiales.

La nanotecnología, medida en publicaciones científicas, duplicó a nivel mundial su volumen entre 2000 y 2007, pasando del 2,5% al 4,1% de las publicaciones

Cuadro 1. Inversión pública en I+D en nanotecnología (millones de dólares), 2005-2010						
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Estados Unidos	1.200	1.351	1.425	1.491	1.527	...
Japón	881	655	667	735	...	...
Alemania	386	414	534	547	547	547
Francia	344	370	404	...	...	...
Corea	274	280	280	270	290	300

Nota: Datos para el 2008-2010 son estimados
Fuente: WPN Policy Questionnaire (2008) en OECD (2009).

Gráfico 1. Publicaciones de los principales países del mundo en nanotecnología

Fuente: OEI-CAEU (2008).

totales en el Science Citation Index (SCI) (OEI-CAEU, 2008).

Estados Unidos, con 7.206 artículos en 2000 y 12.701 en 2007, realiza una contribución cercana al 27% del total en todo el período (gráfico 1). 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 en el mismo período (pasa de 1.995 a 8.964 registros), desde el cuarto lugar que ocupaba en 2000. Completan el listado de los cinco países más importantes en este campo Japón, Alemania y Francia, que presentan un crecimiento moderado (OEI-CAEU, 2008).

En Latinoamérica, Brasil es el pionero y actualmente líder de la producción científica y desarrollo tecnológico en nanotecnología. México y Argentina constituyen un segundo bloque, mientras que los restantes países presentan una producción marcadamente más reducida (gráfico 2). En base al SCI y a la base de datos *World of Science* (WOS), si Brasil publicaba más de 5254 artículos durante el periodo 2000-2007, Perú sólo llegó a publicar una centésima parte (50 publicaciones).

El análisis de las publicaciones en colaboración entre investigadores de países iberoamericanos muestra

que se han conformado redes regionales de conocimiento en el campo de la nanotecnología, las cuales tienden progresivamente a consolidarse. En la trama de las redes (gráfico 3) que se están conformando, se perciben claramente dos patrones diferenciados: el de los países que tienen como nodo de vinculación a España (como Argentina y Uruguay) y el de aquellos que se vinculan directamente con Estados Unidos (como Brasil, México, Venezuela y Perú). Este fenómeno es relativamente reciente, ya que anteriormente España funcionaba como nodo concentrador de casi todos los países de Iberoamérica.

Dado el tamaño relativamente pequeño de la comunidad científica y de los recursos financieros de los países de la región, y en particular del Perú, sólo una intensa colaboración regional y global puede brindar la masa crítica necesaria para darle a la I+D en nanotecnología la sustentabilidad necesaria.

Pero más allá de las capacidades de investigación y de su potenciación a partir de las redes de colaboración, un aspecto central es la capacidad de apropiarse de los resultados de esa investigación, es decir, la tasa en la que la misma se traduce en patentes.

La nanotecnología, medida a través de las patentes registradas internacionalmente mediante el Tratado

de Cooperación en materia de Patentes (PCT) de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), presenta a nivel mundial un crecimiento del 183% entre 2000 y 2007. Durante este periodo se registraron 75.720 patentes. Latinoamérica es poseedora de apenas el 0,3% de dichas patentes. El gráfico 2 muestra también los principales países latinoamericanos en materia de inventores de las patentes en nanotecnología.

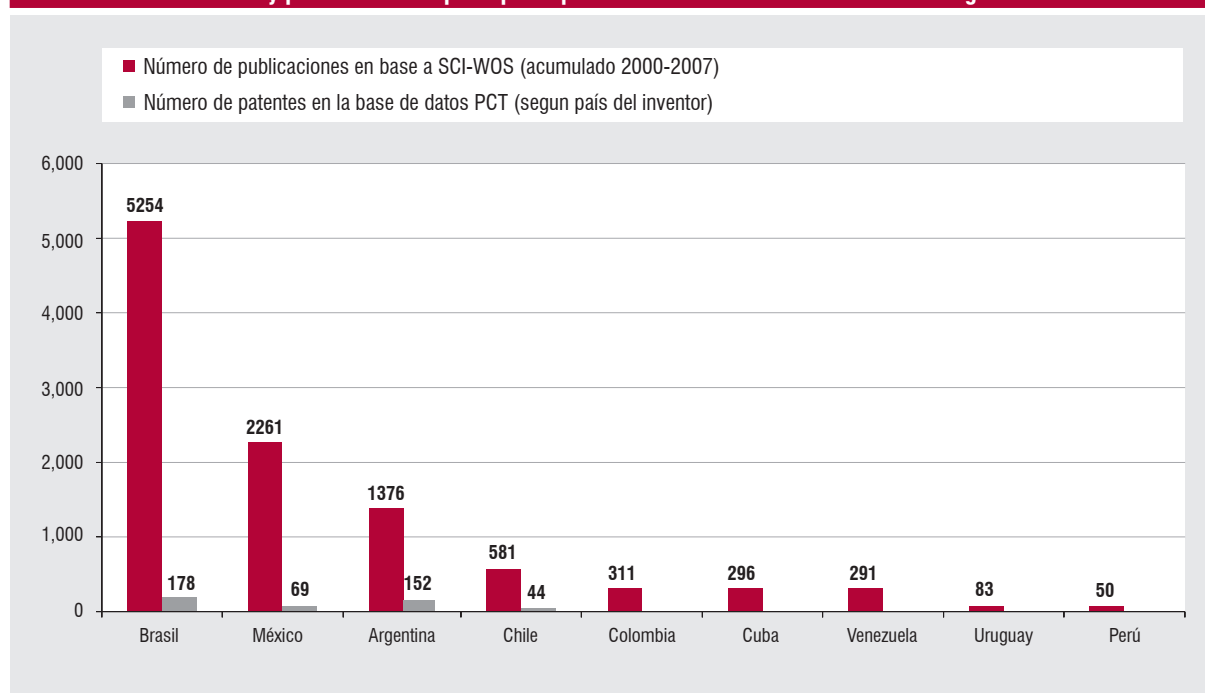
Siguiendo a C. Aguirre et al (2007), entre las aplicaciones significativas que la nanotecnología ha tenido en los países andinos durante los últimos años, cabe señalar:

- Tratamiento y mejoramiento del agua. Nanosensores para la detección de contaminantes y patógenos; nanomembranas y arcillas para la desalinización y remoción de compuestos tóxicos; nanomagnetos para la remoción de compuestos radiactivos.
- Diagnóstico y control de enfermedades. Laboratorio-sobre-chip; puntos cuánticos para la biodetección y bioanálisis; pruebas y secuenciamiento de ADN para propósitos humanos, veterinarios y agricultura; artefactos para la detección de patógenos; amplificador de imágenes médicas; etiquetas moleculares ópticas y magnéticas.
- Transplante y reparación de órganos y tejidos.

Nanomateriales para vendas de transplante y reparación de órganos y tejidos; sangre artificial; prótesis incluyendo recursos visuales y auditivos.

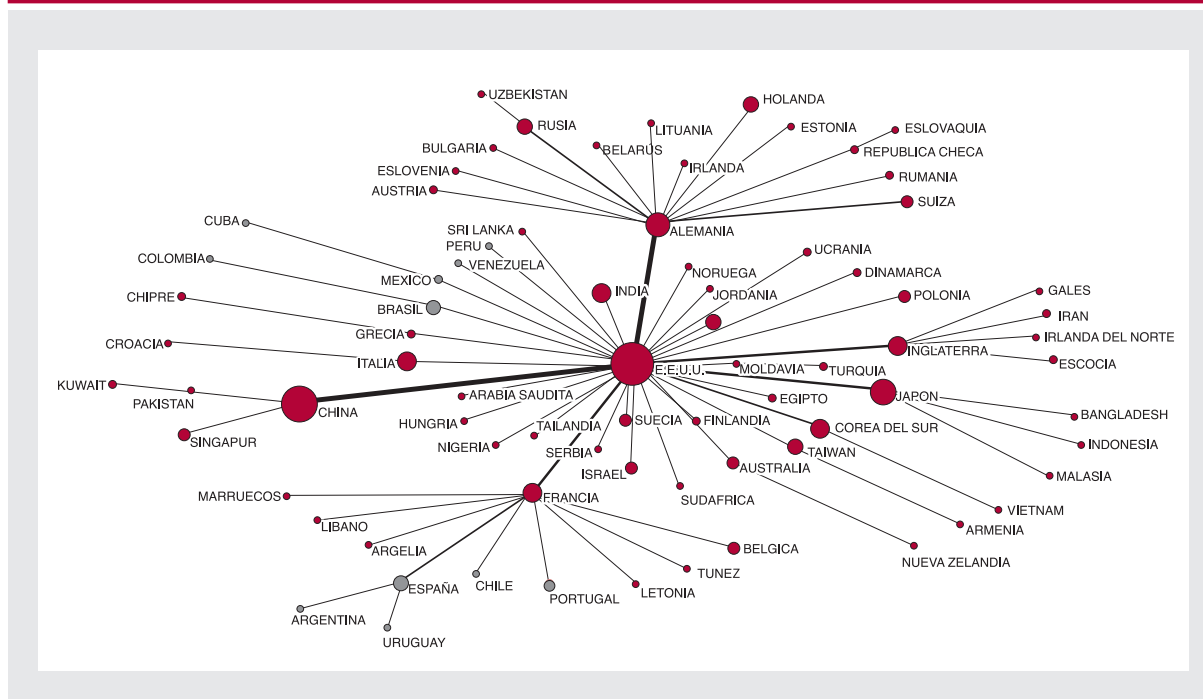
- Incremento de la eficiencia de equipos eléctricos, químicos y mecánicos. Fullerenos como lubricantes; máquinas, artefactos y manufactura molecular; nanomateriales para el aislamiento térmico y eléctrico, reducción de la fricción y desgaste; ingeniería molecular de materiales.
- Almacenamiento, producción y conversión de energía. Celdas solares y de combustible; almacenamiento y conversión de hidrógeno; membranas húmedas autoreparables para almacenamiento de energía; aplicaciones y artefactos fotónicos.
- Mejoramiento del aire. Artefactos para la separación de gases; nanorevestimientos para la fotocatalisis de contaminantes aéreos y para la reducción de emisiones de combustibles fósiles; nanosensores para materiales tóxicos y fugas.
- Almacenamiento y procesamiento de datos. Nanotubos de carbón para transistores de un electrón; memoria, almacenamiento y procesamiento de ADN y óptica; pozos y puntos cuánticos; espintrónica; transistores con nanocables.
- Transmisión de datos. Nanocables y monocapas autoensambladas.

Gráfico 2. Publicaciones y patentes de los principales países latinoamericanos en nanotecnología



Fuente: En base a OEI-CAEU (2008).

Gráfico 3. Red de países con producción científica en nanotecnología, 2007



Fuente: OEI-CAEU, 2008.

- Mejoramiento de la agricultura. Nanocápsulas para la propagación de herbicidas; sistemas de liberación de agua y nutrientes lentos; nanosensores de calidad de suelos; nanosensores para salud vegetal; fertilizantes biodegradables y nanomagnetos para descontaminación de suelos.
- Sistemas de transporte de drogas. Nanocápsulas; liposomas; dendrímeros; *buckyballs* para entrega de drogas y vacunas; sistemas de entrega de drogas lentos y sostenibles.

No obstante los pasos dados en estos países son aún incipientes.

Los principales países de Latinoamérica en el campo de la nanotecnología han implementado políticas activas, constituyendo instituciones e instrumentos ad-hoc de apoyo a la nanotecnología, tales como la Iniciativa Brasileira em nanotecnología y la Fundación Argentina de Nanotecnología. El Anexo E describe la experiencia de dos países latinoamericanos (Argentina y Brasil) que cuentan con políticas activas y han experimentado un notable desarrollo en nanotecnología.

C. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE INNOVACIÓN EN NANOTECNOLOGÍA DEL PERÚ³

Perú todavía tiene un largo camino por recorrer para alcanzar los niveles de desarrollo de la nanotecnología que tienen sus vecinos relativamente más avanzados. Actualmente, no existe un sistema de innovación en nanotecnología en el Perú. A continuación se describen los rasgos principales. El análisis se centra en los aspectos más relevantes para el caso específico de la nanotecnología. No obstante, las apreciaciones generales sobre el sistema nacional de innovación son aplicables al caso de la nanotecnología.

1. Función de producción

Perú cuenta con un escaso desarrollo de la nanotecnología, incluso en comparación con otros países de la región. Tal y como se detalla a continuación, las capacidades actuales distan mucho de poder formar una masa crítica. En el Perú, se cuenta con unos 25 investigadores en nanotecnología repartidos en 6 uni-

versidades y un instituto de investigación, no existen empresas que desarrollen nanotecnología ni la infraestructura necesaria para ello.

1.1. Infraestructura

En el Perú existe una infraestructura básica en cuanto a universidades y laboratorios trabajando en nanotecnología. Sin embargo, dichos laboratorios no cuentan con el equipamiento necesario. Una parte del equipo disponible está obsoleto y, primordialmente, hay equipos básicos necesarios que aún no están disponibles en el Perú (p. ej.: espectrómetro de fotoelectrones de rayos X, magnetómetro de muestra vibrante, espectrómetro Raman, entre otros) (Gutarra 2010). No existen políticas que faciliten la financiación de dicho equipo⁴.

1.2. Empresas

En el Perú no hay empresas desarrollando nanotecnología, sólo hay unas pocas empresas usuarias de nanotecnología (ver ejemplo de la empresa I&T Electric en recuadro 1).

El ejemplo de I&T Electric, muestra que existen personas capacitadas en el Perú para desarrollar productos novedosos que incorporan nanotecnologías. Esta experiencia releva también la importancia de la acreditación y certificación así como las debilidades actuales en el Perú para certificar productos y el coste que ello conlleva.

En el Perú, a diferencia de los países líderes de la región (Brasil, México y Argentina), predominan las

aplicaciones destinadas a resolver problemas de impacto social (p. ej. calidad del agua) frente a los aspectos productivos de la nanotecnología (Gutarra 2010). Si bien es difícil que el sector privado se involucre en el desarrollo de nanotecnologías con objetivos sociales, existe otro amplio número de organizaciones que deben participar activamente en los desarrollos de la nanotecnología, tales como organizaciones no gubernamentales (ONG) o los CITE. Dichas organizaciones juegan un rol fundamental en la formulación de la demanda de tecnología, la traducción de necesidades y como canal de distribución. Además, juegan un rol evaluador sobre la relevancia de la tecnología moderna frente a otras tecnologías clásicas. Por ejemplo, ITDG Soluciones prácticas es una ONG involucrada en la exploración de opciones tecnológicas para resolver problemas sociales y que ha explorado las oportunidades que la nanotecnología puede ofrecer para mejorar la calidad del agua.

Para potenciar los aspectos productivos de la nanotecnología, se deberán considerar cuatro herramientas fundamentales, tal y como lo muestran los ejemplos de Argentina y Brasil: (1) incentivos para la investigación aplicada en la academia, (2) el apoyo al desarrollo de una infraestructura de laboratorios de calidad internacional, (3) el desarrollo del capital de riesgo, y (4) la promoción de spin-offs de las investigaciones. Las dos primeras herramientas se pueden considerar desde el inicio, mientras que el desarrollo de capital de riesgo para la nanotecnología y la promoción de spin-offs en ésta área solo tendrán sentido una vez se hayan desarrollado mayores capacidades de investigación.

Recuadro 1. Empresas usuarias de nanotecnología - el caso de I&T Electric S.A.C.

I&T Electric es una empresa dedicada al diseño y fabricación, mantenimiento y reparación de equipos para baja, media y alta tensión, incluyendo la producción de transformadores y sensores con nanotecnología. Es una empresa innovadora de capital 100% peruano que desarrolla sus propios productos. I&T Electric experimentó un crecimiento geométrico de sus ventas tras la certificación de sus equipos.

El proceso de certificación ha sido a menudo difícil por la falta de laboratorios acreditados en el Perú y el alto costo de la certificación en laboratorios extranjeros.

La necesidad de certificar sus productos les ha llevado a desarrollar dos laboratorios: un Laboratorio de Envejecimiento Acelerado (para probar la vida útil de los productos) y, más recientemente, un Laboratorio de Impulso de Alta Tensión (para probar el aislamiento de productos ante un rayo). La acreditación de dichos laboratorios permite/permitirá certificar la calidad de los productos desarrollados. Dicha certificaciones son exigencias internacionales, imprescindibles para poder exportar. Los laboratorios también sirven para optimizar el diseño de los productos.

La empresa no ha solicitado ninguna patente por los productos que ha desarrollado.

Fuente: Entrevista con Ing. Wilber Aragonés R., socio de I&T Electric, www.itesa.com.pe/

1.3. Organismos generadores de conocimiento

Perú cuenta con una serie de grupos que, desde distintas disciplinas (química, física, biología, ingeniería) desarrollan trabajos de investigación en nanotecnología (recuadro 2). En total se cuentan 13 grupos o laboratorios de investigación con proyectos en el área de nanotecnología. Entre ellos destaca un número de grupos que se dedican a desarrollar aplicaciones de la nanotecnología a la problemática del agua y el saneamiento⁵. En los últimos años, se han formado grupos que experimentan técnicas para mejorar la calidad del agua en aquellas zonas del Perú con deficiencias en la provisión de este servicio básico. El éxito de estos procedimientos sería muy importante en un país donde 6 millones y medio de personas (el 25% de la población total) no cuentan con agua potable y otros 11 millones no tienen servicios sanitarios (Gutarra 2010).

Un ejemplo de las iniciativas para tratar el agua con técnicas derivadas de la nanotecnología y que involucra a Perú es la Unidad de Actividad Química de la CNEA en Argentina que, desde 2002, estudia la aplicación de ciertas técnicas para potabilizar el agua en zonas rurales. Este proyecto se realiza en colaboración con Brasil, Chile, México y Trinidad-Tobago. Entre los objetivos específicos del programa se incluían, además del aumento de conocimiento científico y tecnológico, la formación de recursos humanos y el intercambio de información. Las tecnologías propuestas eran esencialmente tres: DSAUI (Desinfección Solar de Aguas), RAOS (Remoción de Arsénico por Oxidación Solar) y FH (Fotocatálisis heterogénea solar con TiO₂).

Algunos de los mecanismos para el tratamiento de agua que incorporan nanotecnología son:

- Las membranas de nanofiltración.
- La arcilla attapulgite y la zeolita
- Nanocatalizadores y nanopartículas magnéticas
- Nanosensores para la detección de contaminantes

1.4. Organismos difusores de conocimiento

No se cuenta con un informe detallado de la formación impartida en el Perú en nanotecnología. Lógicamente, los principales organismos de difusión son aquellas universidades que realizan investigación en esta área. Si bien se organizan seminarios pun-

tuales sobre nanotecnología en el Perú, hay un interés notable por realizar estudios de postgrado en el extranjero (Gutarra, 2010). Cabe recordar también la limitada cantidad y calidad de los doctorados en el área científica- tecnológica en el Perú (ver Capítulos II y IV). En este sentido, los instrumentos de fomento de intercambio de investigadores, la promoción de becas para la investigación en el exterior así como los incentivos para su posterior retorno son muy relevantes (ver Cátedra Concytec en Nanomateriales).

2. Función reguladora

La nanotecnología puede presentar riesgos potenciales, en particular relacionados con el medio ambiente y la salud, tales como la emisión no regulada de algunas nanopartículas de diseño durante el desarrollo, la fabricación, incorporación, uso o eliminación de productos.

Los países líderes en este campo ya han comenzado a debatir las implicaciones de la nanotecnología y, aunque no existe una regulación específica en este campo (en parte debido a la multitud de tecnologías que abarca), si se han desarrollado medidas voluntarias (p. ej. el Código de Conducta promocionado por la Comisión Europea (2008) o esquemas de notificación voluntaria). También hay esfuerzos por desarrollar capacidades para la evaluación y gestión de riesgos derivados de la nanotecnología y se han realizado ejercicios de revisión de regulaciones nacionales a fin de estimar su adecuación al campo de la nanotecnología (p.ej. evaluar la adecuación de la legislación en protección medioambiental o en alimentos y medicinas a los productos y procesos que involucran nanotecnología) (Framing Nano, 2009). En Argentina, hay un proyecto para la creación de un Código de Ética para la Investigación en Nanotecnología en base a las recomendaciones de la Unión Europea (BET, 2009).

Actualmente, en el Perú, no existe una función reguladora específica para la nanotecnología –lo cual es en cierto modo lógico dado el escaso nivel de desarrollo. No obstante, llegado el momento, será preciso crear espacios en los que se pueda investigar, debatir e informar sobre los riesgos potenciales de las nanotecnologías y las medidas preventivas más adecuadas. Igualmente será necesario desarrollar capacidades en evaluación y gestión de los riesgos derivados de las nanotecnologías. Aunque aún no es una preocupación importante para la sociedad peruana –como

Recuadro 2. Principales grupos de investigación en nanotecnología en el Perú

1. Pontificia Universidad Católica del Perú

Laboratorio de Metalurgia Extractiva, Departamento de Ingeniería

Equipo: 2 investigadores doctores, 1 investigador maestro, 1 tesista de posgrado, tesis de pregrado, 1 investigador con título (Ing./Lic.)

Líneas de investigación:

- a) Nanomateriales: Nanopartículas metálicas
- b) Metalurgia: Electroquímica aplicada a materiales

Laboratorio de Investigación N°4, Dpto. de Ciencias. Sección Química

Equipo: 1 investigador doctor, 1 investigador maestro, 5 tesis de posgrado, tesis de pregrado, 4 investigadores con título (Ing./Lic.)

Líneas de investigación:

- a) Materiales adsorbentes (arcillas, carbones activados)
- b) Tratamiento de aguas industriales
- c) Retención de metales pesados en efluentes mineros

La universidad participa en el proyecto "Investigación de sistemas de tratamiento para la remoción de arsénico, boro y hierro en los cuerpos de agua con fines agropecuarios y agroindustriales" financiado con recursos del FINCyT.

2. Universidad Peruana Cayetano Heredia

Unidad de Bioinformática y Biología Computacional, Facultad de Ciencias y Filosofía

Esta unidad realiza investigaciones en modelamiento molecular con técnicas computacionales.

Líneas de investigación:

- a) Biofísica del ADN y su relación con la evolución molecular
- b) Mecanismo de resistencia a pirazinamida en *Mycobacterium tuberculosis*
- c) Diseño de vacunas multiepitópicas de fusión para taenia solium y virus influenza A.
- d) Alosterismos en hemoglobina a nivel dimérico
- e) Repotenciación de inhibidores de RNA polimerasa bacteriana
- f) Rifaximina.

3. Universidad Nacional de Ingeniería

Laboratorio de Películas Delgadas, Facultad de Ciencias

Equipo: 2 investigadores doctores, 2 investigadores maestros, 2 tesis de posgrado, 4 tesis de pregrado, 2 investigadores con título (Ing./Lic.)

Líneas de investigación:

- a) Celdas fotoelectroquímicas
- b) Síntesis y caracterización de nanopartículas
- c) Fotocatálisis heterogénea con nanopartículas de TiO₂ y ZnO.

Desarrollaron investigaciones sobre tratamiento de aguas usando nanopartículas de TiO₂ comerciales (Degussa P25) y obtenidas por el mismo grupo, por técnicas hidrotermales. Caracterizaron los fotocatalizadores estructuralmente y evaluaron su eficiencia cuántica con fuentes de luz estandarizadas. Los contaminantes evaluados fueron en su mayoría de origen orgánico. También se implementó un sistema de captación solar con tubos de vidrio revestidos internamente con nanopartículas de TiO₂. Ha sido probado exitosamente en una localidad del Cuzco.

Grupo de Materiales Nanoestructurados, Facultad de Ciencias

Equipo: 2 investigadores doctores, investigadores maestros, 1 tesis de posgrado, 4 tesis de pregrado, investigadores con título (Ing./Lic.)

Este grupo trabaja en la obtención o modificación de materiales porosos, monocapas de moléculas orgánicas para biosensores y fabrica películas delgadas para el estudio de magnetorresistencia.

Líneas de investigación:

- a) Silicio poroso
- b) Filtros de arcilla
- c) Magnetorresistencia
- d) Biosensores
- e) Microscopías con sondas de barrido (SPMs)
- f) Descontaminación de aguas de efluentes textiles y aguas contaminadas con plaguicidas

Este grupo realizó ensayos de eliminación de contaminantes en agua combinando en un mismo reactor la adsorción sobre arcillas activadas y luego la degradación fotocatalítica con TiO₂. Con este procedimiento se obtuvieron buenos resultados eliminando colorantes azoicos contenidos en efluentes textiles y plaguicidas.

(cont.)

Recuadro 2. Principales grupos de investigación en nanotecnología en el Perú**Laboratorio de Sputtering, Facultad de Ciencias***Líneas de Investigación:*

Este laboratorio fabrica recubrimientos delgados de diferentes características. El término “Sputtering” (a veces traducido como pulverización catódica), designa una técnica para fabricar recubrimientos metálicos, cerámicos o dieléctricos, usando descarga de plasma en una cámara de vacío. Mediante ésta técnica, el laboratorio ha obtenido películas de cerámicos de alta dureza sobre superficies de herramientas de corte, con el fin de aumentar el tiempo de vida útil de estos instrumentos. Dentro de las aplicaciones en nanotecnología, han depositado nanopartículas de plata en una matriz dieléctrica para estudiar la resonancia por plasmones superficiales. Estos materiales tienen grandes posibilidades de uso en biosensores. La técnica de Sputtering es muy versátil, permite obtener películas delgadas desde algunos nanómetros de espesor hasta varios micrómetros. Esto ha permitido a este grupo fabricar películas delgadas dieléctricas para filtros ópticos interferenciales, y electrodos para microbaterías recargables con Li⁺ como catión de carga y óxido de vanadio como matriz.

Laboratorio de Química de Materiales Aplicados al Ambiente, Facultad de Ciencias

Equipo: 1 investigador doctor, investigadores maestros, 1 tesis de posgrado, 2 tesis de pregrado, investigadores con título (Ing./Lic)

Desarrolla y caracteriza catalizadores para la descontaminación de compuestos orgánicos volátiles (COVs). Usa soportes de alúmina y óxidos de hierro. Actualmente está trabajando en aplicaciones de arcillas pilareadas como soporte de catalizadores para la descontaminación de efluentes industriales y en la fabricación de membranas.

Grupo de Modelado y Simulación Multiescala, Facultad de Ingeniería Mecánica

Estudia sistemas biológicos usando técnicas computacionales. Estudia la interacción de proteínas y su funcionamiento, a fin de descubrir los mecanismos que hay detrás de ciertas enfermedades. El objetivo final de este estudio será la prevención de enfermedades diversas como el cáncer, desórdenes cardíacos, neuronales, entre otras. Cuatro de sus integrantes siguen estudios de postgrado en nanociencia en universidades norteamericanas.

Líneas de investigación:

- Propiedades mecánicas de proteínas.
- El eliminador de cáncer, p53
- Propiedades mecánicas y microestructurales de huesos sintéticos.

4. Universidad Nacional Mayor de San Marcos**Instituto de Ciencias Físicas, Facultad de Ciencias Físicas**

Equipo: 7 investigadores doctores, 4 investigadores maestros, 5 tesis de posgrado, 10 tesis de pregrado, 10 investigadores con título (Ing./Lic.)

Comprende el Laboratorio de nanomateriales, el Laboratorio de difracción de rayos X y espectroscopia Mössbauer y el Laboratorio de análisis de suelos.

Líneas de investigación:

- Síntesis de hidroxiapatita. La hidroxiapatita (Hap) es un fosfato de calcio $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ con propiedades fisicoquímicas similares al tejido óseo.
- Síntesis de materiales magnéticos blandos.

Instituto de Ciencias Químicas e Ing. Química, Facultad de Química e Ingeniería Química*Líneas de investigación:*

Reducción de los contenidos de azufre presentes en el petróleo mediante la aplicación de compuestos nanoparticulados de Molibdeno.

5. Instituto Peruano de Energía Nuclear**Dirección de Investigación y Desarrollo**

Equipo: 3 investigadores doctores, 1 investigador maestro, 3 tesis de postgrado, 1 tesis de pregrado, 1 investigador con título

Líneas de Investigación:

Simulación computacional

6. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa**Laboratorio de Investigación de Química, Facultad de Ciencias Naturales y Formales. Escuela de Química**

Equipo: 20 investigadores doctores, 10 investigadores maestros, 1 tesis de posgrado, 5 tesis de pregrado, 7 investigadores con título (Ing./Lic.)

(cont.)

Recuadro 2. Principales grupos de investigación en nanotecnología en el Perú (cont.)

Líneas de investigación:

- a) Contaminación ambiental
- b) Nuevos materiales
- c) Recursos naturales (fotoquímica)

Investigaciones:

- Coagulación y floculación de las aguas del Río Chili
- Adsorbentes aplicados a la minimización de metales pesados en descontaminación de aguas residuales de industrias textiles y curtiembres.
- Preparación de catalizadores por el método sol-gel
- Monitoreo en 15 puntos de los contaminantes NO₂ del aire en la ciudad de Arequipa mediante tubos pasivos.

7. Universidad Nacional de Trujillo

Laboratorio de Física de Materiales, Línea de películas delgadas y nanoestructuras,

Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

Equipo: 1 investigador doctor, 1 investigador maestro, 1 tesisista de posgrado, 2 tesisistas de pregrado, 1 investigador con título (Ing./Lic.)

Este laboratorio desarrolla materiales con aplicaciones en nanoelectrónica. Para obtener las películas delgadas usa la técnica de spray-pirólisis.

Líneas de Investigación:

- a) Películas delgadas basadas en ZnO.
- b) Semiconductores magnéticos diluidos
- c) Nanopartículas de ZnO:Co

Laboratorio de Materiales Cerámicos, Facultad de Ingeniería

Equipo: 2 investigadores doctores, 2 investigadores maestros, 3 tesisistas de posgrado, 4 tesisistas de pregrado, 2 investigadores con título (Ing./Lic.)

Este laboratorio fabrica materiales cerámicos para construcción y caracteriza sus propiedades mecánicas. Actualmente desarrolla un proyecto que consiste en la fabricación de filtros de arcilla para descontaminación de gases a partir de materiales cerámicos.

Líneas de investigación:

- a) Desarrollo de filtros cerámicos para gases

Fuente: Gutarra (2010).

lo puedan ser los OGM, ya se están planteando preguntas sobre la circulación no controlada en el Perú de productos (p. ej.: alimentos, cosméticos y artículos de belleza) con nanotecnología incorporada.

3. Función de gestión y financiamiento

El financiamiento público para nanotecnología es extremadamente escaso y disperso. Si bien los fondos concursables han funcionado bien para promover investigaciones puntuales, la escala de dichos fondos es insuficiente para desarrollar este sector en el Perú.

Además, cabe tener en cuenta que el desarrollo de investigaciones y aplicaciones de nanotecnología con objetivo social necesitarán principalmente inversión pública. Si bien la financiación a través de la cooperación internacional, en términos de becas o donación de equipos, es un área que se debe seguir

explorando, esta nunca será suficiente. En cualquier caso, será importante mantener cierta independencia a fin de asegurar que la colaboración sea de interés para los objetivos nacionales del país⁶.

4. Función de prospectiva y diseño de planes, programas e instrumentos

El Plan Nacional Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Competitividad y el Desarrollo Humano 2006-2021, incluye la manipulación y diseño de nanomateriales como un eje temático dentro del Programa de Materiales, cuyas líneas de acción comprenden:

- Desarrollo de nanomateriales metálicos, cerámicos, magnéticos, semiconductores o superconductores
- Crecimiento de monocapas moleculares
- Desarrollo de nanocápsulas y nanoportadores
- Diseño y construcción de transductores de baja dimensión.

- Métodos computacionales para el diseño de nanoestructuras

El Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica para el Desarrollo Productivo y Social Sostenible 2009-2013 (un plan de mediano plazo en el marco del plan 2006-2021), incluye la nanotecnología como un área transversal de conocimiento prioritaria, asociada a las tecnologías de materiales. Las líneas de acción en esta área comprenden:

- Investigación y desarrollo en nanopartículas y materiales nanoestructurados, liberación controlada de fármacos y fertilizantes, potabilización del agua y mejora de la calidad de los combustibles.
- Caracterización de propiedades físicas de aleaciones metálicas nanoestructuradas.
- Investigación y desarrollo en biosensores con aplicaciones en biomedicina, agricultura y control ambiental.
- Aplicación de métodos computacionales para el estudio de nanoestructuras.
- Desarrollo de nanomateriales metálicos, cerámicos, magnéticos semiconductores o superconductores.

Estos planes generales no se han traducido en objetivos y presupuestos concretos. En este sentido, sería importante que el Plan focalice en mayor medida sus prioridades para lograr algún avance tangible en los años venideros.

En ese marco, una de las iniciativas públicas de apoyo al desarrollo de la nanotecnología más concretas ha sido la creación de la Cátedra Concytec en Nanomateriales, a partir de un convenio de cooperación entre la Universidad Nacional de Ingeniería y la empresa Hyperthermia suscrito en julio de 2009.

El proyecto que dio lugar a la Cátedra es la producción de nanopartículas de plata, óxido de zinc y hierro para la purificación del agua. Así, el objetivo de la Cátedra es el desarrollo de nanomateriales que serán empleados en la descontaminación de agua. El proyecto comprende dos etapas. La primera desarrolla las condiciones adecuadas para la fabricación de las nanopartículas de plata, óxido de zinc y óxido de hierro y su influencia en el tamaño y distribución de las mismas. En la segunda etapa se realizarán ensayos para evaluar la eficiencia de los materiales desarrollados en la descontaminación del agua. Las primeras evaluaciones estarán direccionadas a la desinfección de aguas contaminadas con *Escherichia coli* (E-coli).

Además de este objetivo general, la Cátedra Concytec apunta a obtener otros resultados:

- Fortalecer la formación de recursos humanos en nanotecnología, otorgando becas de doctorado.
- Contribuir a valorizar los minerales peruanos por el contenido tecnológico que se les puede agregar al convertirlos en nanomateriales con diversas aplicaciones.

La principal limitación de la Cátedra Concytec son los escasos recursos destinados –recibe 20.000 dólares anuales por parte de CONCYTEC.

Además de la cátedra Concytec, como ya se señaló más arriba, el FINCyT está financiando la “Investigación de sistemas de tratamiento para la remoción de arsénico, boro y hierro en los cuerpos de agua con fines agropecuarios y agroindustriales” que se lleva a cabo en la PUCP y el proyecto “Reducción de los contenidos de azufre presentes en el petróleo mediante la aplicación de compuestos nanoparticulados de Molibdeno” en la UNMSM.

Por su parte, el proyecto del IPEN “Fabricación y caracterización de membranas nanotexturadas para aplicaciones ambientales” cuenta con financiamiento del PROCYT (CONCYTEC).

En el Perú no se han llevado a cabo estudios de prospectiva en nanotecnología. No obstante, cabe resaltar el esfuerzo realizado para inventariar capacidades actuales en el área de nanotecnología y su aplicación al área de agua y saneamiento (CONCYTEC y Soluciones Prácticas-ITDG, 2010). El estudio cataloga las capacidades actuales en nanotecnología y áreas relacionadas y ofrece algunas orientaciones.

5. Función de cohesión y ejecución

El Perú no cuenta con ninguna Comisión, Agenda, o Plan Nacional de Nanotecnología que guíe, oriente, establezca prioridades y ayude a incluir la nanotecnología en los aspectos estratégicos de desarrollo nacional.

El nivel de actividad en esta área no justifica una comisión formal o una agenda nacional. No obstante, si se ambiciona fomentar el desarrollo de capacidades en nanotecnología, será necesario contar con un grupo de trabajo que pueda ser el punto de referencia nacional en materia de nanotecnología y que pueda guiar los primeros pasos para establecer las bases del desarrollo de dichas capacidades (por ejemplo, promoviendo el establecimiento de un programa nacional de nanotecnología).

D. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Aunque se evidencia un creciente interés por la nanotecnología, la actividad en este ámbito en el país es aún muy reducida, incluso si se la compara con otros países de la región. El número de investigadores, que se concentran en algunas pocas universidades e instituciones de investigación, es aún escaso y las aplicaciones productivas son aún menores.

Por otro lado, en lo que respecta a la disponibilidad de espacio y equipos para desarrollar investigación en nanotecnología, buena parte del equipo tiene una antigüedad considerable, al mismo tiempo que muchos equipos básicos necesarios no están disponibles en el país.

Además, se registran deficiencias en términos de formación de investigadores, tanto en el plano cuantitativo como cualitativo.

Recomendaciones

Dado que las capacidades (investigación, equipamiento y financiamiento) actuales en el Perú en el área de nanotecnología son escasas, se recomienda concentrar los esfuerzos en una o dos áreas específicas (p. ej. nanomateriales, y filtros y membranas nanoestructuradas para el tratamiento del agua).

Al tratarse de un campo de investigación en el que las capacidades especializadas y la disponibilidad de equipamiento son críticas, y dado el tamaño relativamente pequeño de la comunidad científica peruana y de los recursos con los que cuenta, adquiere especial relevancia la promoción de la cooperación tanto a nivel regional como global, sin la cual resultará imposible lograr la masa crítica necesaria para darle a la I+D en nanotecnología la sustentabilidad necesaria.

Tan importante como el desarrollo de las redes de investigación es el fortalecimiento de la vinculación entre el mundo académico y los usuarios actuales o potenciales de la nanotecnología, sean empresas

Cuadro 2. Principales fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas del sector de la nanotecnología en el Perú.

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Algunas experiencias de investigación • Cierta capacidad de infraestructura básica 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de investigación limitada • Escala limitada de los recursos financieros disponibles • Equipamiento obsoleto y/o insuficiente • Escaso desarrollo nanotecnológico, particularmente a nivel privado • Escasas oportunidades de formación en nanotecnología a nivel nacional • Ausencia de vinculación entre el sector académico y las empresas privadas u otros usuarios. • Ausencia de una agenda nacional en nanotecnología que establezca prioridades
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Potencial para desarrollar productos con impacto social • Experiencia positiva de los fondos concursables • Colaboración internacional y regional 	<ul style="list-style-type: none"> • El desarrollo del sector requiere un alto nivel de inversión • Sector altamente interdisciplinario, requiere estrecha colaboración de expertos en distintos campos • Capacidades limitadas para evaluar los riesgos de la nanotecnología • Elevado retraso frente a otros países de la región • Debilidad general del sistema de innovación nacional: <ul style="list-style-type: none"> - Limitada calidad de la educación en las áreas científicas y tecnológicas - Limitada participación del sector privado en general - Escasos recursos financieros - Debilidades de infraestructura - Escasa vinculación universidad–empresas - Ausencia de prioridad por la ciencia, la tecnología y la innovación en el país

privadas o el propio sector público. Sin embargo, esa vinculación es especialmente débil en el Perú, en general y aún más en un campo relativamente nuevo como el de la nanotecnología

Perú enfrenta dos desafíos principales en el campo de la nanotecnología. Uno es el de fortalecer las capacidades de investigación en las áreas consideradas estratégicas (materiales) o que ya tienen un desarrollo incipiente en el país (saneamiento y aplicaciones ambientales), a través de la formación de recursos humanos de alta calificación, del equipamiento de laboratorios, y del apoyo a proyectos de colaboración con centros de excelencia en la materia.

Por otra parte, resulta clave promover la vinculación con el sector privado y con el Estado como demandantes de posibles soluciones a problemas productivos y/o sociales que incorporen nanotecnología. Para esto, es necesario potenciar los instrumentos existentes, como las Cátedras CONCYTEC y los fondos concursables, y eventualmente incorporar la nanotecnología de materiales como un área de interés específico para el trabajo de algunos de los CITE.

En un momento posterior, una línea de actuación que debería promoverse, y que aborda las dos caras del problema (el mundo académico y las empresas), será la promoción de la creación de empresas de base científica a partir de los grupos de investigación. Aquí hay distintas variantes posibles, desde el involucramiento directo de miembros de un grupo de investigación hasta el licenciamiento o la vinculación de investigadores con emprendedores.

Como resultado de este análisis, se proponen las siguientes recomendaciones:

1) Establecer un grupo de trabajo, formado por los principales actores nacionales en nanotecnología (incluyendo representantes de los principales ministerios involucrados, investigadores, universidades, empresas, ONG, etc.) **con el objetivo de guiar el establecimiento de un Programa Nacional de Nanotecnología.**

2) Realizar un estudio de prospectiva y un proceso de consulta con los distintos actores clave, incluyendo potenciales socios internacionales, **a fin de identificar una o dos redes nacionales de investigación en nanotecnología** (p. ej. nanomateriales y filtros y membranas nanoestructuradas para el tratamiento del agua) así como dos o tres nichos con mayor potencial.

3) Establecer un Programa Nacional de Nanotecnología a cinco años que apoye el desarrollo de la(s) red(es) de nanotecnología y los nichos identificados en el estudio de prospectiva y el proceso de consulta. El programa nacional de nanotecnología comprenderá:

- El desarrollo de la(s) red(es) de nanotecnología y la financiación de las actividades de investigación de las mismas en los nichos identificados
- Apoyo a la inversión en infraestructura de laboratorios y equipamiento
- El desarrollo de uno o dos programas de cooperación internacional
- Apoyo al desarrollo de formación e investigación de alto nivel a través de las Cátedras CONCYTEC
- La formación de investigadores en el extranjero y la facilitación de su retorno
- Una campaña de información sobre la nanotecnología dirigida a empresarios peruanos
- Un conjunto de actividades que fortalezcan la vinculación con potenciales usuarios y organizaciones demandantes, empresas privadas y otros.
- La identificación de los recursos financieros para la consecución de los objetivos (un mínimo de 250.000 dólares⁷ anuales durante los primeros cinco años será necesario).

En una etapa posterior, se podrá considerar:

1) Consolidar el grupo de trabajo en una Comisión Nacional de Nanotecnología. Alcanzado un cierto grado de desarrollo y apoyo, se podrá considerar la creación de un espacio más consolidado capaz de liderar y asesorar en el desarrollo de la nanotecnología en el Perú.

2) Ampliar el número de redes, proyectos y recursos financieros.

3) Desarrollar un plan de formación de recursos humanos en el área de nanotecnología.

4) Desarrollar aplicaciones prácticas, spin-offs, y patentes derivados del esfuerzo de investigación. Se deberán considerar instrumentos de fomento de transferencia de tecnología, el fortalecimiento en la gestión de la propiedad intelectual, y el desarrollo de capital de riesgo para proyectos de nanotecnología.

5) Crear un espacio (p. ej. dentro de la Comisión Nacional de Nanotecnología) **para investigar, debatir y asesorar sobre los aspectos relativos a la seguridad y la regulación de la nanotecnología.**

NOTAS

¹ Ver OEI (2008)

² Aunque en ocasiones se realiza una distinción entre los términos nanociencia y nanotecnología, este informe utiliza el término nanotecnología para abarcar tanto el concepto de nanociencia como de nanotecnología.

³ El Gobierno Peruano solicitó el estudio de este sector en base al potencial que la nanotecnología podría ofrecer como tecnología de uso general.

⁴ Opinión recogida durante las entrevistas con investigadores en el área de nanotecnología.

⁵ El estudio "Estado de Situación de la Nanotecnología en el Perú" (Gutarra, 2009), que examina el potencial de desarrollar un equipo multidisciplinario de nanotecnología dedicado a actividades de agua y saneamiento, ofrece una descripción de los principales laboratorios y grupos con proyectos en nanotecnología.

⁶ Ver en Delgado Ramos (2007) una crítica a la dependencia de la financiación extranjera en nanotecnología en algunos países latinoamericanos.

⁷ Estimación basada en la necesidad de invertir al menos 100,000 dólares anuales por red de investigación y de financiar el equipamiento así como las actividades de formación y promoción. En comparación, Brasil invirtió alrededor de 1 millón de dólares anuales durante los cinco primeros años (2001-2005), para la creación de cuatro redes de nanotecnología.



Conclusiones y recomendaciones clave



A. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA NACIONAL DE INNOVACIÓN PERUANO

La capacidad de innovación en el Perú se encuentra en una situación de debilidad extrema. Los niveles de inversión en I+D son extremadamente bajos (incluso para los estándares de la región); el sistema universitario, y en general el educativo, está en crisis; la participación privada en I+D es prácticamente nula; no existe una vinculación entre las actividades de investigación y el sector productivo; y, más importante aún, la ciencia, tecnología e innovación no es todavía un tema prioritario para el Estado.

Es urgente construir capacidades en ciencia, tecnología e innovación que permitan al Perú utilizar el conocimiento al servicio de las actividades económicas y el bienestar de sus ciudadanos. El desarrollo sostenido del país a medio y largo plazo depende en gran medida de ello.

Bajo nivel de inversión pública y privada en actividades de investigación. Si bien no existen datos objetivos y actualizados sobre la inversión pública y privada en investigación y desarrollo, la información y opiniones recabadas confirman un bajo nivel relativo y absoluto de inversión en I+D en el Perú en comparación con los países líderes de la región. Dicha limitación financiera es un factor explicativo importante, pero no el único, de las limitaciones del sistema nacional de innovación del Perú que se indican a continuación.

Pobre desempeño educativo a todos los niveles, como resultado de unos niveles de inversión en educación insuficientes, una mercantilización excesiva de la oferta educativa, el predominio de consideraciones a corto plazo tanto en el lado de la oferta como de la demanda y un inadecuado control de la calidad de la oferta y de las instituciones educativas. Otras barreras importantes son la limitada orientación hacia disciplinas científicas y tecnológicas y una oferta de formación doctoral insuficiente. Además varias inadecuaciones normativas que limitan la contratación de personal o el uso más flexible del canon minero dificultan el desarrollo de proyectos de investigación en las universidades. Cabe destacar también falta de articulación con la propia comunidad científica y empresarial y el hecho de que la oferta educativa no responde a las necesidades del sector productivo.

Escasa participación privada en investigación y desarrollo. La mayoría de empresas peruanas se concentran en actividades de poco valor añadido, se constata una falta de disposición y oportunidades para asumir riesgo y baja demanda de tecnología y conocimiento productivo. Además, el Perú adolece de una limitada sofisticación del mercado financiero y de una carencia de crédito para actividades de innovación, en particular en cuanto a capital de riesgo.

Ausencia de una masa crítica de investigación. Además de la baja participación privada en I+D, existen dificultades para generar conocimiento a través de los institutos públicos de investigación y las universidades. Los institutos públicos de investigación sufren de una falta de financiamiento, escasa renovación generacional de sus cuadros de investigación, la ausencia de reconocimiento formal de la figura del investigador y la poca colaboración entre organismos de investigación. Las universidades, además de estas limitaciones se enfrentan a una falta de diferenciación de las funciones de educación e investigación, a la fuga de talentos y a un limitado control de calidad educativa y de investigación. Como resultado, la productividad científica peruana se encuentra entre las más bajas de América Latina.

Infraestructura de investigación y desarrollo incompleta. Si bien existe una infraestructura básica de institutos de investigación y universidades, el equipamiento de laboratorios de investigación y acreditación es insuficiente. Perú requiere también consolidar las incubadoras de empresas, en particular para que puedan establecer empresas de base tecnológica; y desarrollar las condiciones necesarias para que los proyectos emergentes de parques tecnológicos puedan ser exitosos. La ausencia de un sistema nacional de calidad eficiente, por ejemplo, la falta de reconocimiento internacional de los laboratorios, afecta seriamente la actividad innovadora y exportadora de las empresas peruanas.

Una estructura normativa desarrollada pero escasamente operante y a menudo contradictoria. Por un lado, los procedimientos burocráticos afectan de manera importante el desempeño del sistema de innovación. Por el otro, el compromiso legal respecto a la promoción de la competitividad y la innovación no se ve correspondido con una asignación efectiva de recursos destinados a I+D, hay una duplicación de organismos y funciones y problemas en la ubicación jerárquica de CONCYTEC, no hay un efectivo control de la calidad de la educación y la investigación, y existen diversos

obstáculos legales para el uso de los escasos recursos económicos. El Perú cuenta con un marco legal de la propiedad intelectual bien desarrollado pero no existen capacidades suficientes para la gestión y el aprovechamiento de la propiedad intelectual.

Ausencia de liderazgo en ciencia, tecnología e innovación.

Falta de convicción sobre la importancia de la CTI para el desarrollo económico y la necesidad de integrar las políticas económicas y las de CTI. Ausencia de compromiso real al más alto nivel para articular sistemas de políticas consistentes.

Sistema nacional de innovación desarticulado incapaz de establecer prioridades y crear sinergias.

Dispersión y duplicación de funciones y una notable ausencia de actividades de prospectiva, así como de seguimiento y evaluación del desempeño.

Explotación limitada del amplio abanico de instrumentos de políticas de apoyo a la CTI.

Amplia promoción de la oferta científica y tecnológica a través del financiamiento directo pero ausencia de instrumentos sistémicos de financiamiento (capital de riesgo y de fondos de garantía) y de financiación indirecta (incentivos fiscales a la I+D), así como de una focalización de los instrumentos - en parte por falta de políticas sectoriales claras.

No obstante, el Perú cuenta con algunas fortalezas e iniciativas importantes sobre las que se puede desarrollar su sistema de innovación.

Existen núcleos de capacidad en ciencia tecnología e innovación.

El país cuenta con un pequeño grupo de universidades de excelencia, laboratorios, y algunos institutos de investigación públicos. Este grupo de universidades con mayor capacidad de investigación muestra una amplia cooperación internacional y llevan a cabo notables actividades de vinculación con el sector productivo, aunque sesgadas hacia la transferencia de tecnología. El estudio bibliométrico realizado indica capacidad de investigación en áreas de ciencias biológicas y de la salud.

Experiencia positiva con varios instrumentos e iniciativas de promoción de la ciencia, la tecnología y la innovación.

En particular, caben resaltar los programas de financiamiento para la CTI (p. ej. FINCYT, FONDECYT), la promoción de la descentralización de la política de CTI a través de los consejos regionales de CTI, las iniciativas para repatriar y formar a nivel de doctorado a través de las Cátedras CONCYTEC, así como los esfuerzos realizados para promover la transferencia

de tecnología a las PYMES a través de los CITE. Si bien los resultados todavía de pequeña escala, estas iniciativas e instrumentos son esfuerzos que merece la pena continuar explotando y mejorando.

Perú cuenta también con múltiples factores que pueden presentar oportunidades para el desarrollo de la CTI en el país.

El país se encuentra en una situación de crecimiento económico, ha encontrado la estabilidad macroeconómica y los inversores extranjeros muestran interés, lo que ofrece condiciones excelentes para el acceso a fuentes de financiación para la CTI. La apertura comercial del país puede facilitar el incremento de la capacidad tecnológica, haciendo más accesible la compra de bienes de capital, facilitando el acceso a nuevas tecnologías y creando incentivos naturales a la innovación empresarial que permita a las empresas peruanas competir. Además, existen amplias oportunidades de cooperación internacional y regional que podrían ser aprovechadas para el acceso a recursos y el desarrollo de capacidades.

Así mismo, se deberá tener en cuenta el reto que supone la gran heterogeneidad de las empresas peruanas formado por un amplio sector informal de baja productividad y un reducido sector moderno, la estructura productiva poco diversificada y concentrada en sectores intensivos en el uso y explotación de recursos naturales, el incremento de la competencia internacional -donde sin una mayor capacidad de absorción tecnológica, entre otros factores, las empresas peruanas tendrán dificultades de competir; y el riesgo que supone la especulación y volatilidad en el mercado de productos de base y en la inversión extranjera.

A continuación se ofrece un balance de las principales fortalezas y debilidades en CTI del Perú, así como las principales oportunidades y amenazas que pueden afectar su desarrollo.

Cuadro 1. Principales fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del sistema nacional de innovación peruano

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Infraestructura básica de institutos de investigación y universidades • Núcleos de capacidad en CTI (grupo de universidades de excelencia, laboratorios universitarios y algunos institutos de investigación públicos) • Cierta capacidad de investigación y recursos humanos en áreas de ciencias biológicas y de la salud • Experiencia en programas de financiamiento para la CTI (fondos concursables) • Esfuerzos en la disseminación de la tecnología en las PYMES • Marco jurídico desarrollado (propiedad intelectual, legislación sobre TIC, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajos niveles de inversión en I+D • Sistema educativo débil a todos los niveles • Limitada orientación profesional hacia disciplinas científicas y tecnológicas, desequilibrio entre las carreras técnicas y las profesionales. • Ausencia de una masa crítica de capacidades en CTI • Ausencia del sector privado en temas de CTI • Sistema nacional de CTI desarticulado • Institucionalidad para la promoción de la CTI compleja con duplicación de funciones • Escasa capacidad de previsión o prospectiva e inteligencia tecnológica • Dificultades para establecer prioridades para la asignación de recursos • Cierta desconocimiento y poco consenso sobre políticas de CTI, entre tomadores de decisión y agentes económicos • Inexistencia de instrumentos financieros de mercado para la CTI (p. ej. capital semilla y de riesgo)
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Estabilidad macroeconómica, crecimiento económico, inversión extranjera y acceso a fuentes de financiación • Apertura comercial: oportunidades para incrementar la capacidad tecnológica: compra de bienes de capital, acceso a nuevas tecnologías, incentivo a la innovación • Colaboración internacional y regional en CTI • Capital humano peruano en el extranjero 	<ul style="list-style-type: none"> • Gran heterogeneidad estructural, con un amplio sector informal de baja productividad y un reducido sector moderno competitivo a nivel internacional. • Estructura productiva poco diversificada y concentrada en sectores intensivos en el uso y explotación de recursos naturales • Competencia internacional. Sin una mayor capacidad de absorción tecnológica, entre otros factores, las empresas peruanas tendrán dificultades • Especulación y volatilidad en el mercado de productos de base y en la inversión extranjera

B. RECOMENDACIONES CLAVE

La construcción de un sistema nacional de innovación debe contemplar dos dimensiones fundamentales: (i) la política (previsión y planeamiento, toma de decisiones y monitoreo); y (ii) la económica-productiva (articulación de los agentes económicos y generadores y difusores de conocimiento en entornos regionales y sectoriales). Para ello se requiere un cambio cultural radical a todos los niveles: en las más altas esferas del gobierno peruano y la clase política, en empresarios e inversionistas, y en círculos académicos y educativos.

Dicha construcción deberá basarse en las capacidades y oportunidades actuales del Perú, continuando aquellas iniciativas que están teniendo éxito pero acometiendo también un gran esfuerzo para establecer prioridades.

En base al diagnóstico realizado, se identifican seis conjuntos de recomendaciones fundamentales para impulsar el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación en el Perú:

1) Establecer una institucionalidad y una estructura organizativa, humana y financiera capaz de liderar el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación en el Perú.

Concentrar en dos organismos las funciones de prospección, inteligencia y planeamiento estratégico y la evaluación de las políticas CTI por un lado, y por otro las de financiamiento y ejecución de los programas de CTI.

Dichas agencias deberán estar dotadas de la autoridad, liderazgo y recursos (humanos y financieros) necesarios para orientar el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación en el Perú. Sus respectivos campos de competencia y la relación entre ambas deberían estar claramente definidos para evitar solapamientos y rivalidades institucionales. Se considera igualmente importante que la ubicación de ambas agencias en la estructura institucional general del Perú garantice una mayor visibilidad de la problemática de CTI y el acceso directo a los responsables políticos del máximo nivel que facilite la incorporación de la dimensión científico-tecnológica y de innovación en la visión general del desarrollo del país.

De acuerdo con estos criterios básicos, se propone el establecimiento de:

1. Un *Consejo Nacional de Innovación* - órgano independiente, con participación de los diferentes actores del sistema nacional de innovación y vinculado a la PCM. El Consejo sería responsable del establecimiento de las grandes líneas de las políticas de ciencia, tecnología e innovación, y tendría también a su cargo las funciones de prospección, inteligencia, planeamiento estratégico y evaluación, para lo que debería estar dotado de medios humanos y financieros propios. Idealmente, la Presidencia del *Consejo Nacional de Innovación* debería ejercerla el Primer Ministro¹, y el Consejo necesariamente debería contar con la participación de los principales ministerios y con representantes de las universidades, de los institutos de investigación, del sector privado y de la propuesta Agencia Peruana de Innovación².

2. Una *Agencia Peruana de Innovación* - organismo dependiente de la PCM, responsable del financiamiento y la ejecución de los programas de CTI.

2) Diseñar una combinación de políticas y programas de CTI que, articuladas con la política económica, fortalezcan las capacidades generales de CTI en el Perú y el desarrollo de la CTI en un número seleccionado de sectores y tecnologías estratégicas.

Articular e integrar las políticas de CTI en la política económica. Partiendo de un ejercicio de prospectiva y un proceso de consulta con los distintos actores clave, identificar un número limitado de sub-sectores prioritarios y tecnologías estratégicas para la economía y sociedad peruana en los que focalizar políticas activas de refuerzo de la capacidad tecnológica y de innovación.

Los programas e instrumentos de CTI orientados al desarrollo en dichos sub-sectores y tecnologías estratégicas deberían ser complementados con otros de carácter más general que tiendan al establecimiento de las condiciones esenciales para el desarrollo de la CTI en el Perú, con actuaciones tanto en lado de la oferta como en el de la demanda. En ambos casos es deseable reforzar la participación del sector privado en el desarrollo de la CTI en el Perú (véase recomendación 5).

Incrementar de forma progresiva y constante el financiamiento a las actividades de CTI, de forma que los niveles de inversión en CTI del Perú alcancen a medio plazo al menos el nivel relativo de inversión de los países líderes de la región. Considerar el establecimiento

to de incentivos que promuevan la inversión privada en CTI. Por ejemplo, considerar el establecimiento de incentivos fiscales para la inversión en I+D.

Desarrollar igualmente un sistema de información de ciencia, tecnología e innovación que permita el diseño, el monitoreo y la evaluación de las políticas de CTI. Por ejemplo, promover la elaboración de una encuesta nacional de innovación, la recogida sistemática de indicadores de CTI y el desarrollo de capacidades para recabar y analizar dicha información.

3) Mejorar la gestión de los programas y políticas de CTI.

Mejorar la gestión de las políticas de CTI mediante el desarrollo de planes a corto plazo con objetivos concretos y mesurables, responsabilidades y recursos claramente identificados y sometidos a un sistema de control.

Situar la responsabilidad de la gestión de los programas de financiamiento a la CTI (Fondecyt, Fincyt, Fidecom) bajo la Agencia Peruana de Innovación propuesta. Considerar también la inclusión de otros fondos sectoriales

Flexibilizar las condiciones para la utilización de los fondos provenientes del canon minero, de manera que éstos puedan ser empleados en actividades de investigación, innovación y formación de capacidades avanzadas en el área de CTI con un destino más amplio y acorde a las necesidades particulares de los grupos de investigación regionales.

4) Invertir en el desarrollo del capital humano peruano.

Reforzar la calidad de la enseñanza a todos los niveles, incrementando la inversión en la educación así como perfeccionando los sistemas de evaluación y control de la enseñanza.

Asegurar la calidad de la docencia y la investigación en las universidades peruanas, revisando el modelo de certificación y control de calidad del sistema universitario y, en particular, los mecanismos de autorización de la creación de universidades en el Perú.

Instaurar la carrera del investigador y mecanismos efectivos de evaluación periódica, fomentar la renovación del cuerpo de investigadores y facilitar la financiación de las actividades de investigación y reforzar la calidad de los programas de formación de postgrado.

Promover la enseñanza en áreas científicas y tecnológicas desde la educación primaria y secundaria.

Impulsar campañas de información y sensibilización que favorezcan el desarrollo en el conjunto de la población de una cultura más próxima a la ciencia y una mayor conciencia entre los agentes económicos, sociales y políticos de la importancia de la ciencia, la tecnología y la innovación para el logro de los objetivos de desarrollo del país, incluyendo la mejora de la calidad de vida de las personas.

Promover programas que faciliten la contribución de los científicos, investigadores y técnicos peruanos en el exterior al logro de los objetivos de la política nacional de CTI, mediante (a) programas que faciliten su reincorporación al mercado laboral peruano en la Universidad o en el sector privado, (b) otras modalidades de participación en actividades científico-tecnológicas en el país que no impliquen el retorno permanente de los participantes (por ejemplo, como asesores, facilitadores de redes de trabajo o formadores ocasionales).

5) Promocionar la participación del sector privado en la ciencia, tecnología e innovación.

Desarrollar un conjunto de programas y acciones que promuevan las actividades de innovación en el sector privado. Entre otros:

- Reducir el costo de la innovación, en particular eliminando las barreras administrativas u otras que afectan a la adquisición de tecnología.
- Facilitar el desarrollo del sector de capital de riesgo y semilla en el Perú y el acceso a financiación de riesgo.
- Apoyar la consolidación de las incubadoras de empresas, en particular en cuanto a su capacidad para incubar empresas de base tecnológica.
- Facilitar normativamente la asociación y el cofinanciamiento público-privado.

Facilitar la articulación del sistema nacional de innovación, entre otros:

- Promocionar la colaboración entre universidades, institutos de investigación y empresas así como la transferencia de tecnología, promoviendo el rol de la universidad y los institutos de investigación tanto en el desarrollo de tecnología y conocimiento científico como en su transferencia y aplicación en los sectores productivos. Por ejemplo, facilitando la capacitación en la gestión de la propiedad intelectual que pueda generar su actividad; desarrollando mecanismos de movilidad entre universidades, institutos de investigación y empresas; o facilitando la inversión privada en actividades de investigación realizadas

por universidades e institutos de investigación públicos y CITE.

- Estimular programas multidisciplinarios, que combinen la participación de varios institutos de investigación, universidades y empresas. Por ejemplo, mediante la consideración del carácter multidisciplinario como factor favorecedor en la obtención de fondos consursables.
- Fomentar la participación del sector privado en el diseño de políticas CTI. Por ejemplo, consultando directamente a empresarios, y no sólo a representantes gremiales, o facilitando su participación en la formulación de los planes de estudio del sistema educativo.

6) Reforzar la capacidad en materia de propiedad intelectual y de calidad.

Desarrollar capacidades institucionales así como en el sector privado, en las universidades e institutos de investigación públicos en materia de la propiedad intelectual, de forma que los instrumentos de propiedad intelectual existentes cumplan más efectivamente su función de incentivar y facilitar la generación y comercialización de tecnologías. Impulsar el desarrollo de políticas de la propiedad intelectual en los institutos de investigación públicos.

Establecer un programa de acción que promueva y facilite la aplicación de sistemas de calidad en el sistema productivo. Esto permitiría a un mayor número de empresas penetrar en el mercado nacional e internacional.

C. EL SECTOR DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN. PRINCIPALES CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Si bien pueden identificarse algunas experiencias individuales exitosas en el sector de las TIC en el Perú, éstas están aún lejos de conformar una masa crítica capaz de posibilitar un desarrollo autónomo del sector.

En el ámbito de la actividad privada, destaca el elevado nivel de informalidad empresarial (limitada

adopción de certificaciones internacionales y escaso control de calidad), su concentración en actividades con bajo valor agregado, y su escasísima vinculación con las iniciativas de investigación en universidades y otras instituciones académicas. Las empresas peruanas se enfrentan también a la falta de mecanismos de capitalización y a cuellos de botella en la formación de recursos humanos.

En el ámbito público, por su lado, a la inexistencia de un marco legal para la promoción de la industria del software que genere los incentivos adecuados para el desarrollo del sector, se suman la evidente debilidad y falta de articulación de los organismos de apoyo a la actividad científica, tecnológica e innovadora, una marcada escasez de recursos y una notoria falta de promoción del sector así como de coordinación entre organismos que tiende a atomizar los fondos disponibles en una multiplicidad de iniciativas dispersas.

A continuación se presentan cinco grandes recomendaciones para revertir esta situación:

1) Desarrollar una visión y estrategia nacional para el desarrollo del sector de las TIC.

- Reforzar los aspectos productivos de la Agenda Digital Peruana, promoviendo una mayor preocupación entre todos los actores implicados (incluyendo ONGEI y CODESI) por fortalecer el sector TIC e identificando un conjunto de acciones prioritarias para desarrollar el sector y la contribución de éste al desarrollo de la sociedad de la información en el Perú.
- Establecer un Programa Nacional para el Desarrollo del Sector de las TIC que incluya el desarrollo de un plan de formación de recursos humanos, la promoción de la investigación en TIC, un conjunto de medidas para desarrollar una mayor sofisticación empresarial, y un refuerzo de los ejercicios de prospectiva y recogida de información sobre el sector así como del monitoreo y la evaluación de capacidades, políticas y programas.

2) Establecer un plan de formación de recursos humanos

en el área de las TIC. Dicho plan deberá fomentar el desarrollo de una oferta educativa completa de alto nivel, multidisciplinar y especializada en base a una evaluación de la oferta educativa en el área y de las necesidades del sector para los próximos 5-10 años. El plan deberá comprender la financiación necesaria para un programa de becas para estudiantes y de capacitación para docentes, para la formación de doctorado y post-doctorado en el Perú y en el

extranjero, y para proyectos de investigación en las universidades. Dicho plan deberá incluir también el apoyo a la acreditación de los programas de formación en el área y la promoción de la formación a nivel técnico.

3) Reforzar la promoción de la investigación en TIC en las universidades y empresas, en particular los nichos identificados.

- Continuar el apoyo proporcionado por los fondos concursables, adaptándolos de forma que puedan responder a la demanda de I+D en este sector.
- Explorar otras opciones de financiación para la investigación (fondo permanente para la innovación en las TIC, desarrollo del capital de riesgo, fondos de garantía, medidas fiscales).
- De forma más general, apoyar las actividades de investigación instaurando la carrera del investigador y reforzando la oferta y calidad de los programas de formación de post-grado.

4) Establecer un conjunto de medidas para desarrollar una mayor sofisticación empresarial del sector, donde las empresas peruanas puedan realizar proyectos de mayor envergadura, competir a nivel internacional y ofrecer servicios especializados y de valor añadido. Se recomienda:

- Impulsar la certificación internacional facilitando su financiación para que las empresas de menor tamaño puedan certificarse e incorporando de forma progresiva en instituciones estatales la exigencia de estas certificaciones a los proveedores de software.
- Reorientar progresivamente los instrumentos de apoyo (p. ej. fondos concursables) hacia las actividades en áreas con mayor valor añadido, promoviendo la especialización en nichos.
- Considerar el desarrollo de otras medidas que puedan facilitar la financiación del sector (fondo permanente para la innovación en las TIC, desarrollo del capital de riesgo, fondos de garantía, medidas fiscales).
- Promover el desarrollo empresarial de otros sectores relacionados con las TIC y complementarios para el desarrollo de éste, es decir, los servicios facilitados por las tecnologías de la información y la industria de contenidos.
- Avanzar en la implementación de la estrategia de gobierno digital creando demanda de nuevas soluciones complejas para las empresas peruanas de software. Analizar las principales barreras para la participación de las empresas locales en este mercado y generar condiciones adecuadas

de competencia para que las empresas locales puedan acceder a éste.

- Fomentar proyectos de colaboración universidad-empresas-instituciones públicas de complejidad creciente.
- Promover la creación de spin-offs universitarios a través de incubadoras.
- Establecer un conjunto de acciones para promover la adopción de las TIC por parte de las PYMES.

5) Reforzar los esfuerzos de prospectiva y recogida de información sobre el sector así como el monitoreo y la evaluación de capacidades, políticas y programas. En particular se recomienda:

- Realizar un ejercicio de prospectiva sobre el sector TIC. Dicho estudio deberá identificar los nichos con mayor valor añadido y potencial para las empresas peruanas y hacia los que deberán centrarse los esfuerzos públicos.
- Realizar un estudio sobre la industria de contenidos en el Perú, centrado en aquellas áreas directamente relacionadas con el desarrollo productivo del sector TIC.
- Monitorear y evaluar de forma sistemática el impacto de las políticas y programas de apoyo al sector.
- Monitorear el acceso y uso de las TIC en la pequeña y mediana empresa.

D. LA BIOTECNOLOGÍA. PRINCIPALES CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el Perú no existe un consenso sobre el rol que la biotecnología moderna debe jugar en el desarrollo del país. La ausencia de una agenda nacional en biotecnología que establezca prioridades y guíe la asignación de recursos públicos, privados y académicos representa un freno para las inversiones y el desarrollo del sector.

La biodiversidad del Perú es una ventaja para la innovación en biotecnología que hasta ahora no ha sido aprovechada. El desarrollo biotecnológico en el Perú es escaso a nivel público, y mucho más a nivel privado. Los proyectos de investigación son esfuerzos aislados y la vinculación entre la investigación y los sectores usuarios es limitada. La capacidad de formación académica es insuficiente. El marco

regulatorio está desarrollado pero incompleto (se necesita establecer los reglamentos sectoriales) y hay limitadas capacidades en materia de gestión de la propiedad intelectual.

Como resultado de este análisis, se proponen las siguientes recomendaciones:

1) Definir una política y posición clara y consistente respecto a la biotecnología

- Como paso previo, será necesario continuar invirtiendo en el diálogo y la construcción de un mayor consenso social sobre el rol de la biotecnología para el Perú.
- Desarrollar una Política Nacional de Biotecnología que proporcione una visión estratégica consensuada e incluya los aspectos jurídicos-reglamentarios necesarios para proporcionar un marco estable para el desarrollo de la biotecnología en el país³.
- Según los resultados de un ejercicio de prospectiva en las diferentes áreas de biotecnología y de un amplio diálogo, desarrollar un Programa Nacional de Biotecnología que establezca un conjunto de acciones coordinadas, específicas, y susceptibles de ser evaluadas; asigne responsabilidades para su ejecución; y establezca los recursos financieros y humanos necesarios para llevarlas a cabo

2) Reforzar las capacidades de investigación y formación:

- Incrementar la financiación a la investigación en las áreas prioritarias
- Establecer oportunidades de financiación para proyectos de más largo plazo y, en el caso del FINCYT, abrir el concurso a propuestas en el área de salud.
- Facilitar la financiación y adquisición de equipamiento para los laboratorios de investigación
- Promover la acreditación internacional de los cursos de maestría y doctorado en el área de la biotecnología

3) Completar el actual marco regulatorio y reforzar las capacidades para su implementación y para la gestión de la propiedad intelectual

- Apremiar la aprobación de la reglamentación sectorial de bioseguridad en agricultura.
- Elaborar el anteproyecto de reglamentación sectorial de bioseguridad en salud y en recursos hídricos.
- Reforzar las capacidades en materia de bioseguridad de los organismos sectoriales competentes
- Promover el desarrollo de una política de propiedad intelectual en los principales institutos de investigación pública (p. ej. INIA)

- Reforzar las capacidades de análisis y asesoramiento en propiedad intelectual en el área de biotecnología.

4) Estimular la transferencia del conocimiento y productos biotecnológicos así como la comercialización y desarrollo económico del sector

- Facilitar la comercialización de la investigación desarrollando políticas de propiedad intelectual en institutos de investigación e universidades
- Continuar fomentando la financiación de proyectos conjuntos entre universidades y empresas
- Fomentar la participación de organizaciones clave en la transferencia de tecnología (CITES, INIA, ONG etc.) en los proyectos de investigación
- Establecer un conjunto de incentivos para la creación y/o atracción de empresas biotecnológicas

5) Reforzar la cooperación internacional a través de alianzas estratégicas con instituciones de alto nivel en sectores clave, tanto en las áreas de investigación e infraestructura como en el área de procesos de bioseguridad.

E. LA NANOTECNOLOGÍA. PRINCIPALES CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Aunque se evidencia un creciente interés por la nanotecnología, la actividad en este ámbito en el país es aún muy reducida, incluso si se la compara con otros países de la región.

Las capacidades (investigación, equipamiento y financiamiento) actuales en el Perú en el área de nanotecnología son escasas. El número de investigadores, que se concentran en algunas pocas universidades e instituciones de investigación, es aún pequeño y las aplicaciones productivas son aún menores. Buena parte del equipo tiene una antigüedad considerable, y muchos equipos básicos no están disponibles en el país. Se registran deficiencias en términos de formación de investigadores, tanto en el plano cuantitativo como cualitativo.

Como resultado de este análisis, se propone, en una primera etapa:

1) Establecer un grupo de trabajo, formado por los principales actores nacionales, **con el objetivo de guiar el establecimiento de un Programa Nacional de Nanotecnología**.

2) Realizar un estudio de prospectiva y un proceso de consulta con los distintos actores clave, incluyendo potenciales socios internacionales, **a fin de identificar una o dos redes nacionales de investigación en nanotecnología** (p. ej. nanomateriales y filtros y membranas nanoestructuradas para el tratamiento del agua) así como dos o tres nichos con mayor potencial.

3) Establecer un Programa Nacional de Nanotecnología a cinco años que apoye el desarrollo de la(s) red(es) de nanotecnología y los nichos identificados en el estudio de prospectiva y el proceso de consulta y que comprenda:

- El desarrollo de la(s) red(es) de nanotecnología y la financiación de las actividades de investigación de las mismas en los nichos identificados
- Apoyo a la inversión en infraestructura de laboratorios y equipamiento
- El desarrollo de uno o dos programas de cooperación internacional
- Apoyo al desarrollo de formación e investigación de alto nivel a través de las Cátedras CONCYTEC
- La formación de investigadores en el extranjero y la facilitación de su retorno
- Una campaña de información sobre la nanotecnología dirigida a empresarios peruanos

- Un conjunto de actividades que fortalezcan la vinculación con potenciales usuarios y organizaciones demandantes, empresas privadas y otros.
- La identificación de los recursos financieros para la consecución de los objetivos (un mínimo de 250.000 dólares⁴ anuales durante los primeros cinco años será necesario).

En una etapa posterior, se podrá considerar:

1) Consolidar el grupo de trabajo en una Comisión Nacional de Nanotecnología que lidere y asesore en el desarrollo de la nanotecnología en el Perú.

2) Ampliar el número de redes, proyectos y recursos financieros.

3) Desarrollar un plan de formación de recursos humanos en el área de nanotecnología.

4) Desarrollar aplicaciones prácticas, spin-offs, y patentes derivados del esfuerzo de investigación. Se deberán considerar instrumentos de fomento de transferencia de tecnología, el fortalecimiento en la gestión de la propiedad intelectual, y el desarrollo de capital de riesgo para proyectos de nanotecnología.

5) Crear un espacio (p. ej. dentro de la Comisión Nacional de Nanotecnología) **para investigar, debatir y asesorar sobre los aspectos relativos a la seguridad y la regulación de la nanotecnología.**

NOTAS

¹ No necesariamente debe revertirse a este nivel de participación para todas las actividades del Consejo.

² Este listado no es excluyente

³ Reconsiderar, por ejemplo, el proyecto de ley de promoción de la biotecnología moderna.

⁴ Estimación basada en la necesidad de invertir al menos 100.000 dólares anuales por red de investigación, y además del financiamiento del equipamiento así como de las actividades de formación y promoción. En comparación, Brasil invirtió alrededor de 1 millón de dólares anuales durante los cinco primeros años (2001-2005), para la creación de cuatro redes de nanotecnología.



Bibliografía



BIBLIOGRAFÍA

- Abusada R., Du Bois F., Morón E. y Valderrama J. (eds.) (2000) *La reforma inconclusa*, Universidad del Pacífico, IPE, 2000.
- Aguirre Bastos, C. (2007) "Políticas Públicas para el Desarrollo y Utilización de la Nanotecnología". Centro de Estudios de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación- Academia Nacional de Ciencias de Bolivia
- Andersen, E.S. (1994) *Evolutionary economics: post-Schumpeterian contributions*. London, Pinter.
- Andersen, E.S., Lundvall, B.A., and Sornn-Friese, H. (2002) Editorial, *Research Policy* 31(185-90).
- Anlló, G., Goldberg, L. y Lugones, G. (2002) ¿Cómo medir la innovación tecnológica? Incertidumbres que plantea el caso argentino. *Apertura e innovación en Argentina*.
- ANR (2010) *Directorio Universitario 2010*. Asamblea Nacional de Rectores.
- Aráoz, M. (2008) Balance sobre el estado del comercio internacional con miras a la reunión de APEC; *Economía y Sociedad* N° 69; CIES; Noviembre 2008.
- Arrow, K.J. (1962) "Economic welfare and the allocation of resources for invention", in: Nelson, R.R. and Universities-National Bureau Committee for Economic Research and National Bureau of Economic Research, Eds., *The rate and direction of inventive activity : economic and social factors*. Princeton. Princeton University Press. 1962, pp. 609-25.
- Barrantes, R. (2008) *Convergencia tecnológica y armonización regulatoria: evolución reciente y tendencias*. Estudio de caso: Perú. Mayo 2008
- BCRP (2000-2008) *Memorias 2000 al 2008*. Banco Central de Reserva del Perú.
- Beer, S. (1972) *Brain of the firm: the managerial cybernetics of organization*, London, Allen Lane, the Penguin Press.
- Beer, S. (1984) The Viable System Model - Its Provenance, Development, Methodology And Pathology, *Journal Of The Operational Research Society* 35(1): 7-25.
- Beer, S. (1985) *Diagnosing the system for organizations*, Chichester, J. Wiley.
- BET (2009) *Nanotecnología. Boletín Estadístico Tecnológico* N°3 abril/junio de 2009. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Argentina
- Biotechs (2008a) *Relevamiento de las normas y regulaciones generales y específicas vinculadas a las biotecnologías en los países del MERCOSUR*. Junio 2008
- Biotechs (2008b) *Inventario de Capacidades en Biotecnología. Argentina - Brasil - Paraguay - Uruguay*. Junio 2008
- Biotechs (2008c) *Inventario de Instrumentos de Financiamiento para la Biotecnología. Argentina - Brasil - Paraguay - Uruguay*. Junio 2008
- Bisang, R., Anlló, G., Campi, M. y Cesa, V. (en prensa), "Biotecnología y desarrollo: ventana de oportunidades o nueva frustración", en *Innovación a Escala Mercosur. Enfoques sectoriales*. UNSAM, Buenos Aires, en prensa.
- Bisang R., Campi M., y Cesa V. (2009) *Biotecnología y desarrollo*. Documento de proyecto. CEPAL. Naciones Unidas.
- Blyde, J. y Fernández-Arias, E. (2004) Chapter 1: Why does Latin America grow more slowly?. *Sources of economic growth in Latin America: What's missing?*, 2004.
- Boekholt, P., Lankhuizen, M., Arnold, E., Clark, J., Kuusisto, J., Laat, B.d., Simmonds, P., Cozzens, S., Kingsley, G., and Johnston, R. (2001) "An international review of methods to measure relative effectiveness of technology policy instruments," in *Technopolis Reports*. Amsterdam: Technopolis.
- Breschi, S. and Malerba, F. (1997) "Sectoral innovation systems: Technological regimes, Schumpeterian dynamics, and spatial boundaries", in: Edquist, C., Ed., *Systems of innovation: technologies, institutions and organizations*. London ; Washington. Pinter. 1997, pp. 130-56.

- BSA/ IDC (2010) 09 Piracy Study. 7th Annual BSA /IDC Global Software. May 2010
- Bunge, M. (1979) A Systems Concept Of Society - Beyond Individualism And Holism, *General Systems* 24(27-44).
- CAF (2005) Biotecnología para el uso sostenible de la biodiversidad. Capacidades locales y mercados potenciales. Corporación Andina de Fomento
- Carlsson, B. (1994) "Technological systems and economic performance", in: Dodgson, M. and Rothwell, R., Eds., *The handbook of industrial innovation*. Aldershot. Edward Elgar. 1994, pp. 13-24.
- Carlsson, B. and Jacobsson, S. (1997) "In search of useful public policies: key lessons and issues for policy makers", in: Carlsson, B., Ed., *Technological systems and industrial dynamics*. Boston, Dordrecht, London. Kluwer Academic Publishers. 1997, pp.
- Carlsson, B., Jacobsson, S., Holmén, M., and Rickne, A. (2002) Innovation systems: analytical and methodological issues, *Research Policy* 31(2): 233-45.
- Castro C. (2008) Industrias de contenidos en Latinoamérica. Documento de Grupo de Trabajo eLAC2007. Enero 2008
- Ceballos Rios N. (2006) Biotecnología En Países Megadiversos. Brasil, México, Perú. www.grupobiotecnologia.com.ar/verarticulo.asp?id=24
- CEPAL (2008) Espacios Iberoamericanos. La economía del conocimiento, Octubre 2008.
- CEPAL (2009) Innovar para crecer. Desafíos y oportunidades para el desarrollo sostenible e inclusivo en Iberoamérica, 2009.
- CEPAL (2010a) Balance preliminar de las economías de América Latina y el Caribe, 2010
- CEPAL (2010b) Panorama del derecho informático en América Latina y el Caribe. Marzo del 2010
- Checkland, P. (1981) *Systems thinking, systems practice*. Chichester, Wiley.
- CITE (2010) Resultados de las acciones de los CITEs, 2006-2009
- CODESI (2007) Informe Año 2007. Comisión Multisectorial para el seguimiento y evaluación del Plan de desarrollo de la sociedad de la información - La Agenda Digital Peruana
- Commission of the European Communities (2004) "Community rules on state aid for innovation. Vade mecum." Brussels: Commission of the European Communities.
- CNC (2008) Metodología: Cómo se construyó el Índice de Competitividad Regional, 2008.
- CNC (2009) Índice de Competitividad Regional, 2009
- CONAM (2008) Perú: país megadiverso. Comisión Nacional de Diversidad Biológica, Consejo Nacional del Ambiente, 2008.
- CONCYTEC (2003) Perú ante la sociedad del conocimiento. Indicadores de Ciencia, Tecnología e Innovación 1960-2002; Septiembre 2003.
- CONCYTEC (2006) "Plan Nacional Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Competitividad y el Desarrollo Humano 2006-2021", Sección III. Áreas Prioritarias. CONCYTEC, Lima, Abril de 2006.
- CONCYTEC y Soluciones Prácticas-ITDG (2010) Nanotecnología de agua y saneamiento. Perú: Memorias del seminario y taller. CONCYTEC y Soluciones Prácticas ITDG
- Convenio sobre la Diversidad Biológica, 1992
- Cooke, P. (2001) Regional innovation systems, clusters, and the knowledge economy, *Industrial and Corporate Change* 10(4): 945-74.
- Cooke, P. (2005) Regionally asymmetric knowledge capabilities and open innovation: Exploring 'Globalisation 2'-A new model of industry organisation, *Research Policy* 34(8): 1128-49.
- Cooke, P., Gomez Uranga, M., and Etxebarria, G. (1997) Regional innovation systems: Institutional and organisational dimensions, *Research Policy* 26(4-5): 475-91.
- Cuore CRR (2008) Perfil de la Industria Peruana de Software. Estudio elaborado para PACIS. Febrero 2008

- Dalum, B., Johnson, B., and Lundvall, B.-Å. (1992) "Public policy in the learning society", in: Lundvall, B.-Å., Ed., National systems of innovation : towards a theory of innovation and interactive learning. London ; New York. Pinter. 1992, pp. 296-317.
- Daude, C. y Fernández-Arias, E. (2010) On the Role of Productivity and Factor Accumulation in Economic Development in Latin America and the Caribbean. IDB Working Paper Series # IDB-WP-155, 2010.
- David, P. and Foray, D. (1994) "Accessing and expanding the science and technology knowledge base. A conceptual framework for comparing national profiles in systems of learning and innovation." Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Delgado Ramos G. C. (2007) Sociología política de la nanotecnología en el hemisferio occidental: el caso de Estados Unidos, México, Brasil y Argentina. Revista de Estudios Sociales No. 27, agosto 2007 Bogotá, pp.164-181
- Devine, S. (2005) The viable systems model applied to a national system of innovation to inform policy development, Systemic Practice and Action Research 18(5): 491-517.
- Doloreux, D. (2004) Regional Innovation Systems in Canada: A comparative study, Regional Studies 38(5): 481-94.
- Doloreux, D. and Parto, S. (2005) Regional innovation systems: Current discourse and unresolved issues, Technology in Society 27(2): 133-53.
- Donayre, L. (2005) Repensando el rol de la IED en el Perú: ¿son relevantes sus vínculos con la economía local? Economía y Sociedad N° 58, CIES, diciembre 2005 (<http://cies.org.pe/files/ES/Bol58/07-donayre.pdf>)
- Edquist, C. (1997) "Systems of innovation approaches - Their emergence and characteristics", in: Edquist, C., Ed., Systems of innovation : technologies, institutions and organizations. London ; Washington. Pinter. 1997, pp. 1-35.
- Edquist, C. (2005) "Systems of innovation: Perspectives and challenges", in: Fagerberg, J. and Mowery, D. and Nelson, R., Eds., The Oxford handbook of innovation. Oxford. Oxford University Press. 2005, pp. 181-208.
- Edquist, C. and Hommen, L. (1999) Saystems of innovation: theory and policy for the demand side, Technology in Society 21(1): 63-79.
- Edquist, C., Hommen, L., Johnson, B., Lemola, T., Malerba, F., Reiss, T., and Smith, K. (1998) The ISE Policy Statement - The Innovation Policy Implications of the 'Innovation Systems and European Integration' (ISE) Research Project. Linköping, European Commission.
- EIU (2009) Peru: Telecoms and Technology Report. 14th September 2009
- Espinoza Herrera, N. (2008) Los parques tecnológicos regionales en el Perú. Universidad Nacional de San Marcos
- Ernst & Young (2009) Beyond Borders. Global Biotechnology Report 2009.
- European Commission (2002) Innovation tomorrow. Innovation papers No 28
- FAO (2010) Agricultural Biotechnologies for Food Security and Sustainable Development: Options for Developing countries and Priorities for Action by the International Community. Food and Agriculture Organization. International Technical Conference. ABDC-10/9
- Falck-Zepeda J., Falconi C., Samaio-Amstalden M. J., Solleiro Rebolledo J. L., Trigo E., y Verástegui J. (2009) La Biotecnología Agropecuaria en América Latina. Una Visión Cuantitativa. Internacional Food Policy Research Institute.
- Ferro P., Benavides J. and Ghislain M. (2010) Intellectual Asset Management to make available virus resistant papaya to small-scale farmers in Peru- A Case Study. Estudio Grau / INIA Peru CAS-IP NPI Collaboration Project
- FINCYT (2010) Informe de gestión, julio 2007- marzo 2010. 1 abril 2010
- Framing Nano (2009) Mapping Study on Regulation and Governance of Nanotechnologies. FramingNano Project. January 2009

- Freeman, C. (1987) Technology policy and economic performance : lessons from Japan. London, Pinter.
- Freeman, C. (1995) The National System of Innovation in Historical-Perspective, Cambridge Journal of Economics 19(1): 5-24.
- Freeman, C. (2002) Continental, national and subnational innovation systems --complementarity and economic growth, Research Policy 31(2): 191-211.
- Fundação Biominas (2007) A Biominas Study of the Brazilian Biotechnology Companies. Belo Horizonte, October 2007
- Furman, J.L., Porter, M., and Stern, S. (2002) The determinants of national innovative capacity, Research Policy 31(899-933).
- Gallástegui Sabroso M., Destefano Beltrán L., Bernal Sánchez G. (2009) Caso Hersil S.A.: Éxito en la Innovación de Productos Naturales Funcionales para el Mercado Nacional e Internacional. Estudios de prácticas exitosas de innovación empresarial. Concurso Público de Investigación FINCYT-CIES "Innovación Tecnológica Empresarial en el Perú" Lima, Noviembre 2009
- Giugale, M, Fretes-Cibils, V. & Neuman, J. (2006) An opportunity for a different Peru: Prosperous, Equitable and Governable, World Bank, 2006.
- GRADE (2006) Informe de progreso educativo en el Perú, PREAL, 2006.
- GRADE (2007) Investigación, políticas y desarrollo en el Perú. Lima, Grupo de Análisis para el Desarrollo.
- Guerra García, R. (2009) Estudio del Perú: "Los programas de apoyo a la formación de postgrado en ciencias e ingeniería".
- Gutarra Espinoza, A. (2010) "Situación de la Nanotecnología en el Perú" en CONCYTEC y Soluciones Prácticas-ITDG (2010)
- Gutiérrez Correa, M. y Estrada Jiménez, R. (2004) Informe Final "Línea base para la implementación del Programa Nacional en Biotecnología Agraria y Agroindustrial en el Perú", Octubre 2004 en INCAGRO (2008)
- Gutiérrez Correa, M. (2008) Informe Final de Consultoría para la Elaboración del Sub Programa de Formación de Científicos a Nivel de Postgrado, CONCyTEC, 2008.
- Hanushek, E.A. and Woessmann, L. (2009) Schooling, cognitive skills, and the Latin American growth puzzle, National Bureau of Economic Research, Working Paper 15066.
- ICEX (2009) El sector de tecnologías de la información y la comunicación en Perú. Informes sectoriales. Oportunidades de inversión y cooperación empresarial. Oficina económica y comercial de la Embajada de España en Lima.
- INCAGRO (2008) "Líneas de base para la Implementación de Planes Estratégicos", Fano Rodríguez, H. y Torres Roque, M., Lima, 2008
- INDECOPI (2005) Balanza de conocimiento y propiedad intelectual en el comercio; Serie Estudios de Investigación; mayo 2005.
- INDH/PNUD-Perú (2007) La Pobreza. Cuestiones fundamentales. Documento para el CADE 2007, Lima, 2007
- INEI (2007a) Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda
- INEI (2007b) Encuesta Nacional de Hogares (ENAHOG)
- INEI (2009a) Encuesta Nacional de Hogares. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)
- INEI (2009b) PERÚ: Tecnologías de Información y Comunicaciones en las Empresas 2006-2007, Lima, Enero 2009
- International Data Corporation (IDC) & Business Software Alliance (BSA) (2009) News Release, 2009.
- International Intellectual Property Alliance (IIPA) (2009) Special 301 Report on Copyright Protection and Enforcement, Perú, 2009.
- International Property Rights Index (IPRI) (2009) Report 2009.

- IPE (2009) El reto de la infraestructura al 2018. "La brecha de inversión en infraestructura en el Perú 2008". Agosto 2009.
- ISAAA (2009) La situación mundial de la comercialización de cultivos biotecnológicos/ genéticamente modificados en 2009.
- Jaramillo Salazar, H. (2008) Estudio sobre resultados e impactos de los programas de apoyo a la formación de postgrado en Colombia: hacia una agenda de evaluación de calidad. Facultad de Economía, Universidad del Rosario, 2008.
- Katz (2009) El Papel de las TIC en el Desarrollo. Propuesta de América Latina a los Retos Económicos Actuales, Editorial Ariel, Barcelona
- Kirat, T. and Lung, Y. (1999) Innovation and proximity: territories as loci of collective learning processes, *European Urban and Regional Studies* 6(1): 27-38.
- Kline, S.J. and Rosenberg, N. (1986) "An overview of innovation", in: Landau, R. and Rosenberg, N., Eds., *The positive sum strategy : harnessing technology for economic growth*. Washington, D.C. National Academy Press. 1986, pp.
- Kuramoto J. y Torero M. (2004) "La participación pública y privada en la investigación y desarrollo e innovación tecnológica en el Perú", GRADE, 2004.
- Kuramoto, J. (2006) Retos del Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Competitividad y el Desarrollo Humano, *Unodiverso: ciencia, tecnología y sociedad* 2(3): 67-84.
- Lee, T.-L. and von Tunzelmann, N. (2005) A dynamic analytic approach to national innovation systems: The IC industry in Taiwan, *Research Policy* 34(425-40).
- Lemarchand, G.A. (Ed.) (2010) *Sistemas nacionales de ciencia, tecnología e innovación en América Latina y el Caribe*, UNESCO, Oficina Regional de Ciencia Para América Latina y el Caribe, Montevideo.
- Limanche A. (2009) Era Informática. Artículo de prensa. *El Comercio*. 26 octubre 2009
- Lim, E. (2001) Determinants of, and the Relation Between, Foreign Direct Investment and Growth: A Summary of the Recent Literature. Working Paper 01/175, IMF, 2001
- Llosa Larrabure, J., Pajares Garay, E. y Toro Quinto, O. (eds.) (2009) Cambio climático, crisis del agua y adaptación en las montañas andinas. Reflexión, denuncia y propuesta desde los Andes. Lima: desco: Red Ambiental Peruana, 2009.
- Lugones, G., Gutti, P y Le Clech, N. I (2007) Indicadores de capacidades tecnológicas en América Latina. Serie Estudios y Perspectivas N° 89, CEPAL, Octubre 2007, México.
- Luhmann, N. (1995) *Social systems*. Stanford, Calif., Stanford University Press.
- Lundvall, B.-Å. (1992a) *National systems of innovation : towards a theory of innovation and interactive learning*. London ; New York, Pinter.
- Lundvall, B.-Å. (1992b) "User-producer relationships, national systems of innovation and internationalisation", in: Lundvall, B.-Å., Ed., *National systems of innovation : towards a theory of innovation and interactive learning*. London ; New York. Pinter. 1992b, pp. 45-67.
- Lundvall, B.-Å. and Tomlinson, M. (2001) "Learning-by-comparing: Reflections on the use and abuse of international benchmarking", in: Sweeney, G.P. and Six Countries, P., Eds., *Innovation, economic progress and the quality of life*. Cheltenham. Edward Elgar. 2001, pp. 120-36.
- Lundvall, B.A., Johnson, B., Andersen, E.S., and Dalum, B. (2002) National systems of production, innovation and competence building, *Research Policy* 31(2): 213-31.
- Malerba, F. (1996) "Public policy and industrial dynamics: an evolutionary perspective," European Commission.
- Malmberg, A., Maskell, P (1997) Towards an explanation of regional specialization and industrial agglomeration, *European Planning Studies* 5(1): 25-41.
- Malsch TechnoValuation (2007) "Nanotechnology in Argentina: Report of a Fact Finding Mission to San Carlos de Bariloche and Buenos Aires", 19-23

- Martins P. R., Domingues Dulley R., Premebida A. y Braga R. (2006) Actividades relacionadas con las nanotecnologías en Brasil
- McKelvey, M. (1991) "How do national systems of innovation differ? A critical analysis of Porter, Freeman, Lundvall and Nelson", in: Hodgson, G.M. and Screpanti, E., Eds., *Rethinking economics : markets, technology and economic evolution*. Aldershot and Brookfield. Edward Elgar. 1991, pp. 117-37.
- MCT (2006) "Nanotecnología: Investimentos, Resultados e Demandas" Ministério da Ciência e Tecnologia-Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologia
- Mendoza, W. (2006) Perspectivas para el año 2007: ¿cosecha y siembra, o solo cosecha? Economía y Sociedad N° 62, CIES, diciembre 2006 http://cies.org.pe/files/ES/Bol62/03_MENDOZA.pdf
- Menvielle (2004) "La cooperación internacional en el MERCOSUR"
- Metcalfe, J.S. (1995a) "The economic foundations of technology policy: equilibrium and evolutionary perspectives", in: Stoneman, P., Ed., *Handbook of the economics of innovation and technological change*. Oxford, UK. Blackwell. 1995a, pp. 409-512.
- Metcalfe, J.S. (1995b) *Technology Systems and Technology Policy in an Evolutionary Framework*, Cambridge Journal of Economics 19(1): 25-46.
- MINAM (2009a) Informe Técnico N°036-SPS-DGDB-VMDEMN-MINAM 26 octubre 2009
- MINAM (2009b) Informe Técnico N°016-2009-SPS-DGDB-VMDEMN-MINAM 30 junio 2009
- Ministerio de Educación (2010) Resultados de la evaluación censal de estudiantes 2009 - ECE 2009. Segundo grado de Primaria. Unidad de Medición de la calidad educativa, Secretaría de planificación estratégica, Ministerio de Educación, Perú
- MOITI (2008) Market Brief: Brazil Biotechnology Industry. Massachusetts Office of International Trade and Investment February 2008. www.massbrazil.com.br
- Mullin Consulting Ltd. y Asociados (2002) Un análisis del sistema peruano de innovación. Una contribución al desarrollo del Programa de Ciencia y Tecnología BID/Perú. Ontario: BID
- National Environmental Fund (2009) Peru, country for investment, 2009.
- Nature (2010) Brazil's Biotech Boom. Editorial. *Nature* 466, 295. 15 July 2010 www.nature.com
- Nelson, R.R. (1959) The simple economics of basic scientific-research, *Journal of Political Economy* 67(3): 297-306.
- Nelson, R.R. (1993) *National innovation systems : a comparative analysis*. New York ; Oxford, Oxford University Press.
- Nelson, R.R. and Nelson, K. (2002) Technology, institutions, and innovation systems, *Research Policy* 31(2): 265-72.
- OCDE (2009) *Reviews of Innovation Policy*. Chile, 2009.
- OECD (1992) *Technology and the economy: the key relationships*. Paris, Organisation for Economic Co-operation and Development.
- OECD (1994) *The OECD jobs study. Facts, analysis, strategies*. Paris, OECD.
- OECD (1999) *Managing National Innovation Systems*. Paris, OECD.
- OECD (2002a) *Dynamising national innovation systems*. Paris, Organisation for Economic Co-operation and Development.
- OECD (2002b) *Frascati Manual 2002: Proposed Standard Practice for Surveys on Research and Experimental Development*. OECD
- OECD and Eurostat (2005) *The measurement of scientific and technological activities. Oslo Manual. Guidelines for collecting and interpreting innovation data, (Third Edition ed.)*. Paris, Organisation for Economic Co-operation and Development and European Commission, Statistical Office of the European Communities.
- OECD/BID (2007) *Derecho y política de la competencia en América Latina. Exámenes inter-pares en Argentina, Brasil, Chile, México y Perú*. Paris, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos / Banco Interamericano de Desarrollo.

- OECD (2008) OECD Information Technology Outlook 2008
- OECD (2009a) Biotechnology Statistics
- OECD (2009b) Guide to measuring the information society, 2009
- OEI-CAEU (2008) La Nanotecnología en Iberoamérica: situación actual y tendencias. Observatorio Iberoamericano de Ciencia, Tecnología e Innovación del Centro de Altos Estudios Universitarios de la OEI. Disponible en: www.oei.es/observatoriocts/index.php
- OEI-CAEU (2009) La biotecnología en Iberoamérica. Situación actual y tendencias. Observatorio Iberoamericano de Ciencia, Tecnología y Sociedad - Centro de Altos Estudios Universitarios, Organización de Estados Iberoamericanos
- ONGEI (2007) Equivalencias entre software privativo y software de libre disponibilidad. Oficina Nacional de Gobierno Electrónico e Informática. Presidencia del Consejo de Ministros. Abril 2007
- ONGEI (2009) Perú e-Government Master Plan. marzo 2009
- Padilla, R. y Martínez, J. M. (2007) Apertura comercial y cambio tecnológico en el Istmo centroamericano. Serie Estudios y Perspectivas N° 81, CEPAL, Mayo 2007, México.
- PCM and ONGEI (2010) Organización del Estado Peruano, Web document. Presidencia del Consejo de Ministros - ONGEI, www.peru.gob.pe/docs/estado.pdf (31/07/2010).
- Piscocoy, L. (2006) Ranking universitario en el Perú, Asamblea Nacional de Rectores, 2006
- PNUD- Perú (2005) Informe sobre Desarrollo Humano 2005 "Hagamos de la Competitividad una Oportunidad para Todos", Lima 2005
- PNUD- Perú (2006) Informe sobre Desarrollo Humano 2006 "Hacia una Descentralización con Ciudadanía", Lima 2006
- Porter, M.E. (1990) The competitive advantage of nations. London, Collier Macmillan.
- PROMPEX y APESOFT (2003) Situación de la Industria Nacional de Software en el Perú.
- RAMP-Perú (2007) El sistema de invención e innovación tecnológica, necesidades y demandas tecnológicas. Una investigación nacional y regional (Cajamarca, Cusco, Puno). Lima, Proyecto RAMP Perú.
- Rey F. (2005) Tendencias y perspectivas del Mercado audiovisual en tres países de América Latina. Informe preparado para la UNESCO. Octubre 2005
- Roca W. (2003) Estudio de las capacidades biotecnológicas e institucionales para el aprovechamiento de la biodiversidad en los países de la Comunidad Andina.
- Rothwell, R. and Zegveld, W. (1981) Industrial innovation and public policy: preparing for the 1980s and the 1990s. London, Frances Pinter.
- Sachs, J. (2006) El fin de la pobreza. Cómo conseguirlo en nuestro tiempo, Editorial Debate, Buenos Aires, 2006
- Sagasti, F.R. (2003) "El sistema de innovación tecnológica en el Perú," in Foro nacional e internacional - agenda: Perú. Lima.
- Sagasti, F. (2009) "Fortalecimiento del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en el Perú", 2009
- Sánchez Tarnawiecki C. (2003) Capacidades de investigación científica y tecnológica en el Perú en el área temática de tecnologías de información y comunicaciones. Informe de consultoría. Febrero 2003
- Saravia M., Iriarte E. (2007) Reporte nacional - Perú. Monitor de Políticas TIC y Derechos en Internet en América Latina. APC, 6 noviembre 2007
- Schwab, K. (Ed.) (2009) The Global Competitiveness Report 2009-2010, World Economic Forum, Geneva.
- Smith, K. (1998) "Innovation as a systemic phenomenon: rethinking the role of policy", in: Bryant, K. and Wells, A., Eds., A new economic Paradigm? Innovation based evolutionary systems. Canberra. Commonwealth of Australia. 1998, pp. 17-52.
- Soete, L. and STRATA-ETAN Expert Group (2002) Benchmarking national research policies: The impact of RTD on competitiveness and employment (IRCE). Brussels, European Commission, DG Research.

- Taboada Escajadillo, A. (2008) Programa de apoyo a la competitividad de la industria del software-PACIS.
- Tello M.D. y Távora J. (2010) Productive Development Policies in Latin American Countries: The case of Peru, 1990-2007. IDB Working Paper Series No. IDB-WP-129
- UIS (2010) Global Education Digest. Comparing education statistics around the world. UNESCO Institute for Statistics
- UNCTAD (2009a) Estudio sobre las perspectivas de la armonización de la ciberlegislación en América Latina. Junio de 2009
- UNCTAD (2009b) Information Economy Report 2009. Trends and Outlook in Turbulent Times.
- UNESCO (2009) A Global Perspective on Research & Development. UIS Fact Sheet, N°2, October 2009.
- Verdera, F. (2007) La pobreza en el Perú. CLACSO/ IEP, Lima 2007
- Villarán, F. (2007a) Desarrollo y Fortalecimiento de una nueva institucionalidad.
- Villarán, F. (2007b) *El mundo de la Pequeña Empresa*, MINCETUR, CONFIEP, COPEME, Lima, 2007.
- von Bertalanffy, L. (1968) General system theory : foundations, development, applications. New York, Braziller.
- WEF (2009) The Global Competitiveness Report 2009-2010.
- WEF (2009) The Financial Development Report 2009. New York, World Economic Forum
- WHO (2002) Genomics and World Health Report of the Advisory Committee on Health Research. World Health Organisation. Geneva, 2002
- Wijnberg, N.M. (1994) National Systems of Innovation - Selection Environments and Selection Processes, *Technology in Society* 16(3): 313-20.
-

PÁGINAS WEB CONSULTADAS

Acuerdo Nacional: www.acuerdonacional.org.pe
AmerSur Asociación Civil: www.amersur.org.ar
Banco Interamericano de Desarrollo: www.iadb.org
Centro Argentino-Brasileño de Biotecnología: www.mincyt.gov.ar/
Centro Argentino-Brasileño de Nanociencia y Nanotecnología: <http://cabnn.mincyt.gov.ar>
Centro Argentino de Información Científica y Tecnológica: www.caicyt.gov.ar
Comissão Técnica Nacional de Biossegurança : www.ctnbio.gov.br
Conferencia de la Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo: www.unctad.org
Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica: <http://portal.concytec.gob.pe/>
Consortio de Investigación Económica y Social – CIES: www.consortio.org
Consortio de Organizaciones Privadas de Promoción al Desarrollo de la Micro y Pequeña Empresa:
www.copeme.org.pe
CREA Software Perú: www.perusoftware.org
Estrategia CRECER: www.crecer.gob.pe
Fundación Argentina de Nanotecnología: www.fan.org.ar
Grupo de Biotecnología: www.grupobiotecnologia.com.ar/verarticulo.asp?id=24
Indiastat: www.indiastat.com
Información Legislativa: www.infoleg.gov.ar
Instituto Nacional de Estadística e Informática: www.inei.gob.pe/
Instituto del Mar del Perú: www.imarpe.gob.pe
Mesa de Concertación de la Lucha contra la Pobreza: www.mesadeconcertacion.org.pe
Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva - Argentina: www.mincyt.gov.ar
Ministerio de Educación: www.minedu.gob.pe
Ministerio de la Producción – Perú: www.produce.gob.pe
NASSCOM: www.nasscom.in/
Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial: www.unido.org
OSIPTEL: www.osiptel.gob.pe Presidencia del Consejo de Ministros (PCM): www.pcm.gob.pe
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo: www.undp.org
Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericana e Interamericana: www.ricyt.org
Red de Nanotecnología en el Perú: www.nanotecnologia.com.pe
Unidad Académica en Estudios del Desarrollo: www.estudiosdeldesarrollo.net



Anexos



ANEXO A. DESARROLLO Y LIMITACIONES DEL ENFOQUE DE SISTEMAS DE INNOVACIÓN NACIONAL

La noción de sistemas en la literatura de innovación tecnológica

El origen del uso de la noción de sistemas asociado con los estudios de innovación se puede encontrar en la evolución del propio concepto de innovación. Estas asociaciones tempranas entre nociones cercanas a la de sistemas y la innovación, que comenzó durante la década de los 70's en los trabajos de varios académicos alrededor de Christopher Freeman y la *Science Policy Research Unit* (SPRU)¹, implicaban la conceptualización de este fenómeno como un *proceso no lineal que involucra la participación coordinada de un amplio rango de actores*.

El subsiguiente uso de estos conceptos, hacia fines de los ochenta y principio de los noventa, se dio en tres trabajos seminales que introdujeron la idea de sistemas de innovación nacional² e implicaron una extensión de las redes de agentes en el proceso de innovación para incluir el papel desempeñado por las instituciones³. Estas *interpretaciones originales* no condujeron a una noción unificada de sistema de innovación nacional,⁴ probablemente porque los proponentes principales corresponden a diferentes tradiciones de investigación, en las que el común denominador ha sido la afinidad con las ideas del economista Joseph Schumpeter.

El principal objetivo de estas interpretaciones originales de sistemas de innovación nacional, era explicar los patrones nacionales de desarrollo económico a través del análisis de las interacciones entre los actores y las instituciones participantes en redes de innovación. Vinculada a este objetivo primario, había también una implícita, y en ocasiones explícita, orientación hacia el diseño de políticas de innovación.⁵

A pesar de su orientación hacia las políticas, ninguna de las interpretaciones originales incluyó una versión operativa del enfoque de sistemas de innovación. Ésta ha sido desarrollada fundamentalmente por la OCDE, que adoptó la noción desde principios de los años noventa (David and Foray 1994; OECD 1992). De aquí siguió lo que podemos llamar la *interpretación generalizada* del enfoque, que implica

que sistemas nacionales específicos pueden ser suficientemente descritos mediante la enumeración de los componentes principales (agentes e instituciones) que participan en procesos de innovación y el estudio de sus interacciones más relevantes. A partir del análisis de cómo estas interacciones dan forma a sistemas de innovación exitosos, se desprende la identificación de “mejores prácticas” y componentes fundamentales que sirven entonces como guía para el aprendizaje institucional y organizacional en el entorno internacional. Esta interpretación generalizada, refinada en diversos informes y estudios⁶, es usualmente la que se emplea en los estudios de sistemas de innovación.

La interpretación vigente de sistemas de innovación no es totalmente consistente con el enfoque de sistemas. Por ejemplo, los objetivos de los enfoques son distintos. La interpretación original de sistemas de innovación nacional se orienta a la identificación de diferencias de desempeño innovador entre diversos países. Particularmente en cómo las distintas instituciones nacionales, influyen el desempeño exitoso de los sistemas de innovación. En contraste, la teoría de sistemas se basa en la identificación de elementos, funciones, comportamientos, etc., que son similares⁷ entre diversas áreas. Ello implica que sistemas de cualquier clase operan de acuerdo a los mismos principios básicos, por lo que idealmente, debería ser posible deducir los principios aplicables a sistemas particulares de aquellos que son más generales⁸.

Además, el enfoque de sistemas de innovación se ha basado fundamentalmente en una definición tradicional de sistemas como entidades compuestas de elementos e interacciones y no aborda aspectos concernientes a la estructura jerárquica de los sistemas, al tratamiento del entorno y al análisis de los procesos que ocurren al interior del sistema⁹. La teoría de los sistemas abiertos reemplazó esta noción tradicional, por aquella en la que un sistema se diferencia de su entorno (Checkland 1981; Luhmann 1995; von Bertalanffy 1968); e introdujo dos pares de ideas que constituyen la base del pensamiento de sistemas: emergencia y jerarquía así como comunicación y control. Esto es, nuevos sistemas emergen de la interacción entre subsistemas, a la vez que las diferentes jerarquías entre el todo y sus componentes permite la diferenciación respecto al entorno; y, esas interacciones requieren de diversos mecanismos de comunicación cuya función es el control del sistema en su *tendencia* hacia la estabilización.

La utilización del enfoque de los sistemas de innovación también presenta algunas paradojas. Una de ellas es la utilización dual del concepto de sistema de innovación. Por una parte, éste es un marco de referencia para *explicar la realidad*. Por otra parte, se adopta también como una postura normativa y el marco se convierte en un *modelo de cómo debería organizarse la realidad*. Así, en lugar de ser una representación fiel de la realidad observada, se convierte en una que es filtrada a través de una estructura pre-determinada.

En síntesis, el planteamiento de sistemas de innovación sólo es generalizable como marco analítico que asume la necesidad de articulación (interacciones) entre agentes económicos, pero no proporciona elementos para tratar sistémicamente a estos agentes; es decir, no explica cómo éstos se organizan jerárquicamente para ir conformando sistemas emergentes de complejidad creciente.

Consecuentemente, los estudios realizados dentro de este marco describen frecuentemente supuestos subsistemas cuyas interacciones constituyen sistemas de innovación nacionales pero no presentan detalles que permitirían evaluar si en efecto los agentes constituyen tales subsistemas, por ejemplo un subsistema industrial o uno de investigación suficientemente maduros y desarrollados. En otras palabras, se asume generalmente que dichos subsistemas están dados y sólo es necesario atender al desarrollo de instituciones, organismos, instrumentos de política, etc. (vía aprendizaje/ réplica de experiencias internacionales) que favorezcan la interrelación de esos subsistemas. Naturalmente, esta perspectiva funciona con relativo éxito en países que, por motivos históricos, efectivamente cuentan con tales subsistemas. Sin embargo, ésta será estéril en países en los que esos subsistemas no existan o se encuentren en procesos de maduración o consolidación.

ANEXO B. SISTEMAS DE INNOVACIÓN REGIONAL (SIR)

El concepto de sistemas de innovación regional ha venido tomando importancia entre académicos y tomadores de decisiones desde finales de los años noventa. El enfoque ha recibido considerable atención como un promisorio marco analítico para incrementar el entendimiento de los fenómenos de innovación en las economías regionales (Cooke 2001; Cooke 2005).

La popularidad de este enfoque se encuentra estrechamente relacionada con la emergencia de nodos y conglomerados de actividad industrial identificables regionalmente, así como con el surgimiento de políticas públicas de innovación en las cuales la región es considerada como la escala más apropiada para promover y generar economías sustentables basadas en el conocimiento y la innovación.

El concepto de SIR no cuenta con definiciones generalmente aceptadas, pero usualmente es entendido como un conjunto inter-actuante de intereses públicos y privados y de organizaciones e instituciones formales, que operan de acuerdo a arreglos organizacionales e institucionales así como a relaciones que conducen a la generación, uso y difusión del conocimiento (Doloreux 2004; Doloreux and Parto 2005). El argumento fundamental consiste en que este conjunto de actores produce efectos sistémicos que estimulan a las empresas dentro de las regiones para desarrollar formas específicas de capital derivadas de las relaciones sociales, normas, valores e interacciones dentro de la comunidad, mismas que refuerzan las capacidades innovadoras y la competitividad.

El origen del concepto descansa en dos cuerpos principales de teoría: (1) la literatura de sistemas de innovación y (2) los estudios territoriales cuyo enfoque se dirige a explicar los entornos socio-institucionales dentro de los cuales emerge la innovación (Malmberg 1997). Desde una perspectiva regional, la innovación es un fenómeno localizado e incorporado localmente, y no un proceso ubicuo.

El concepto de SIR ha surgido en diversos países en momentos en que las políticas públicas buscan enfocarse hacia la promoción de procesos bien localizados de generación de conocimiento que garanticen la competitividad de las regiones. La principal justificación para plantear políticas específicas y orientadas al interior de sistemas regionales se basa en su mayor capacidad para concentrarse en el desarrollo de capacidades de desempeño de las empresas, así como en mejorar sus entornos de negocios. Desde este punto de vista, resulta de considerable importancia promover las interacciones entre diversos actores que deberían tener buenas razones para interactuar, tales como las que pueden darse entre empresas, universidades y centros de investigación, o entre empresas emergentes y otras más desarrolladas (Cooke 2001). En función de esto, las estrategias de política pueden orientarse adicionalmente al desarrollo de ventajas comparativas locales, vinculadas a recursos específicos de las regiones.

ANEXO C. ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA PERUANA 2003-2009

C.1. Nota metodológica

Este breve estudio bibliométrico tiene por finalidad auxiliar en la identificación de las áreas de investigación que cuentan con mayor fortaleza en el Perú, para orientar la toma de decisiones en materia de determinación de prioridades de CTI. El estudio mide la “visibilidad internacional” y otros atributos de las publicaciones en que participaron investigadores peruanos del 2003 al 2009¹⁰. Esta visibilidad internacional se determina con base en la publicación en revistas indexadas —esto es, revistas cuyas fichas bibliográficas de contenido y las referencias citadas en cada uno de sus artículos son sistemáticamente registradas en bases de datos de reconocido prestigio¹¹. En este estudio, se empleó la base de datos ISI¹² Web of Knowledge de Thomson Reuters, que es la más reconocida internacionalmente entre los proveedores de este tipo de servicios.

Para el estudio se colectaron todas las publicaciones de artículos de revistas,¹³ en las que hubiera participado un autor con residencia registrada en el Perú. Una vez depurados los registros bibliográficos, se trabajó con los siguientes campos de la base de datos: nombre de los autores, título de los artículos, direcciones de los autores, dirección del autor principal, institución en la que se realizó la investigación, categoría temática (asignada por el ISI), palabras clave asignadas por los autores, palabras claves asignadas por el ISI y número de citas recibidas por el artículo (a la fecha de la recolección de los datos).

Los diversos campos fueron procesados para identificar: el número de artículos por categorías temáticas, diferenciando la institución y país sede del autor principal; el *impacto* de los artículos por categorías temáticas y por instituciones, diferenciando el país donde el autor principal reside; los temas de investigación sobre los que hay mayor producción científica; y las redes de colaboración que se establecen con otros países en materia de investigación.

Para las temáticas y tendencias de investigación se emplearon diversos métodos analíticos. La construcción de redes se realizó para identificar los grupos de conceptos de investigación y categorías temáticas de

mayor frecuencia así como sus relaciones. Los procesos estadísticos fueron empleados para establecer comparaciones entre los artículos en los que el primer autor radica en el Perú, con aquéllos en que éste radica en el extranjero. Para estos análisis se tomaron como variables: el número de publicaciones y su *impacto* por categorías temáticas/ país e instituciones peruanas.

El *impacto* se define como el número de citas dividido entre el número de publicaciones. En este estudio corresponde al número de citas que recibieron los artículos de cada categoría temática y de cada país, dividido entre el número total de publicaciones en esa categoría y país durante el periodo determinado. Éste indicador proporciona una aproximación al grado de calidad de los artículos al relacionar los artículos que las comunidades científicas consideran útiles para su trabajo (mediante las citas) y el volumen total de artículos publicados.

C.2. Interpretación de las redes

Algunos de los gráficos empleados en bibliometría son redes que se refieren a diversos tipos de relaciones. Las redes están formadas por **nodos y conectores** (relaciones). En el ejemplo del gráfico A.1, los países son los nodos y las líneas que los unen, las relaciones. De acuerdo al tipo de análisis que se esté haciendo, es importante diferenciar tres aspectos de las redes: la **frecuencia de aparición** de cada nodo (número en el rectángulo junto al nombre del país); la frecuencia con que cada nodo se presenta aparejado con otro (**frecuencia de pares**, representado por el número encerrado en un círculo sobre el conector); y el número de relaciones que cada nodo tiene con los demás, o **conectividad** (número de líneas que surgen de cada nodo).

Así, en el ejemplo, el nodo del Perú tiene una frecuencia de 3.446 nodos —en este caso, autores de artículos; una frecuencia de pares de 1.467 con Estados Unidos —representando el número de veces que un peruano y un estadounidense aparecen como coautores de un artículo; y una conectividad de cuatro —indicando relaciones de coautoría con otros cuatro países. El ejemplo del Gráfico A.1 es una red muy simplificada, ya que se emplean **umbrales** de estos factores para eliminar la complejidad de las mismas, mejorar su comprensión y extraer las conclusiones más significativas.¹⁴

Gráfico A.1 Ejemplo de red de autores de artículos

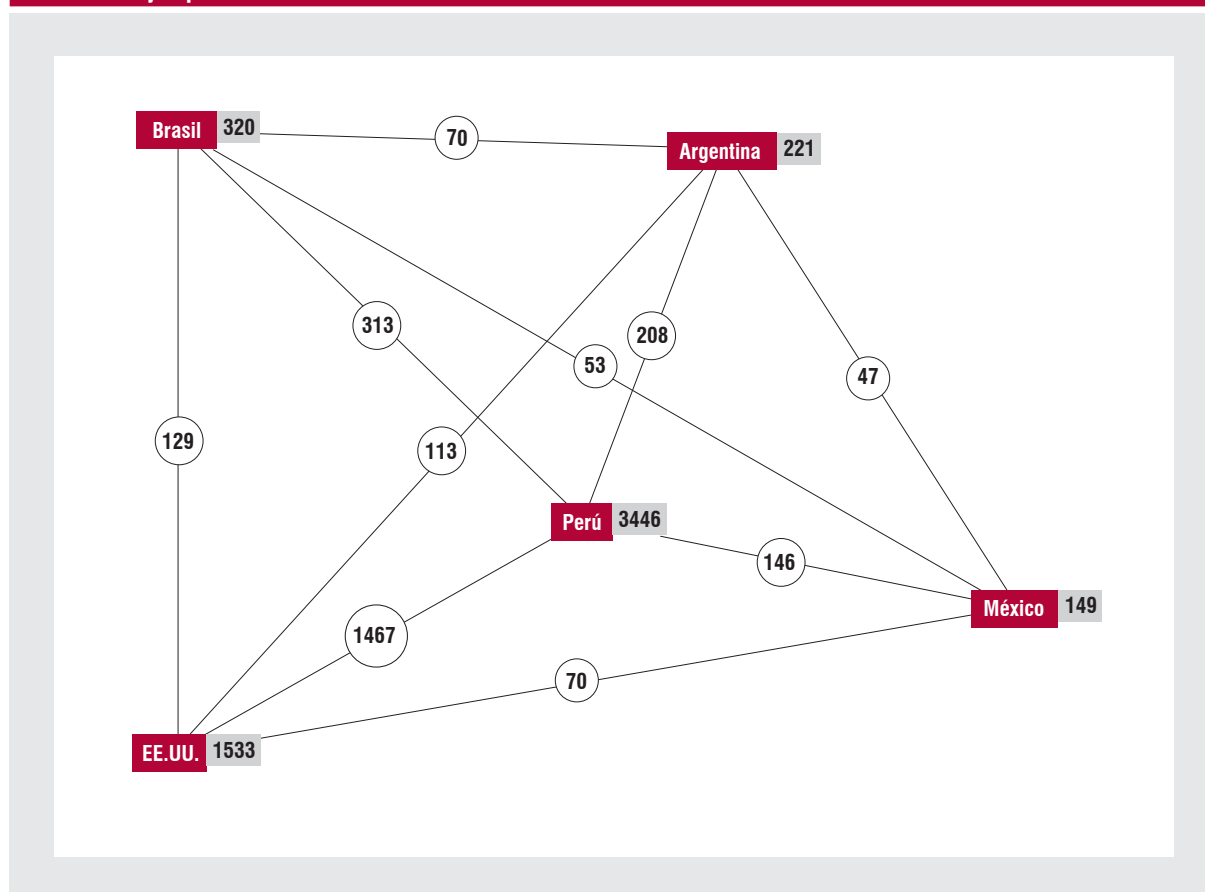
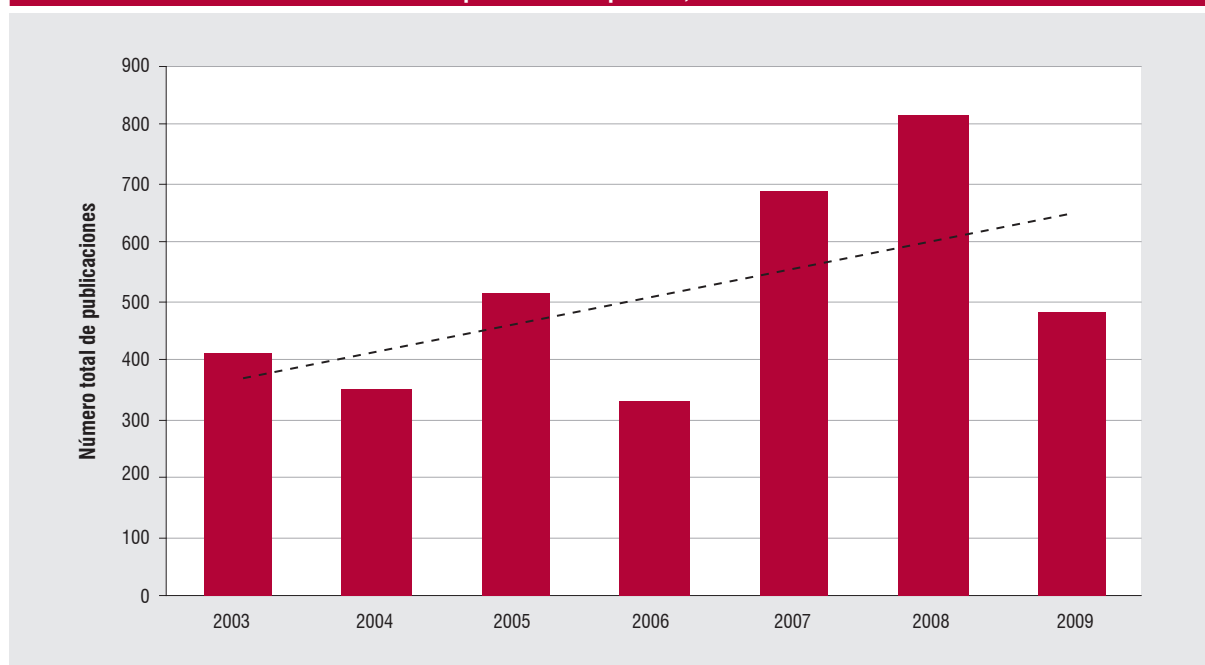


Gráfico A.2 Distribución del número total de publicaciones por año, 2003–2009



C.3. Breve descripción de resultados

El total de publicaciones encontradas en la base de datos durante el periodo 2003–2009 correspondió a 3.663 artículos de los cuales la distribución entre primeros autores radicados en el Perú y en el extranjero fue de 1.304 y 2.359 respectivamente. Los gráficos A.2 y A.3 muestran la distribución de las publicaciones por año y por país de residencia. Se observa en lo general una producción irregular, aunque con una tendencia creciente; no obstante, también se percibe que esta tendencia depende es un reflejo de la producción externa.

Los gráficos A.4 y A.5 presentan tanto los principales socios de investigación del Perú, como las redes de colaboración establecidas entre éstos. Los principales colaboradores de los investigadores peruanos se encuentran principalmente en Estados Unidos (34%), Brasil (7%), España (6%), Inglaterra (6%) y

Argentina (5%)¹⁵. Se puede observar también, que en esta red de colaboración con centro en el Perú, la relación fundamental es con Estados Unidos —casi cinco veces mayor que el segundo más cercano colaborador, y que a la vez muestra un alto grado de colaboración con el resto de países (umbral de conectividad = 18).

En cuanto a las tendencias de investigación, el gráfico A.6 muestra tres grandes áreas en las que se lleva a cabo investigación con mayor intensidad. En primer lugar y con gran importancia, el área de medicina humana, con énfasis en enfermedades infecciosas (tuberculosis y VIH). En segundo lugar, un área de ecología, predominando la generación de modelos dinámicos sobre los patrones de conservación de la biodiversidad en las selvas. Finalmente, una tercera área sobre zootecnia, aunque enfocada en última instancia a la medicina humana —dirigida al estudio de la cisticercosis porcina y la neuro-cisticercosis.

Gráfico A.3. Distribución del número de publicaciones por origen del primer autor, 2003–2009

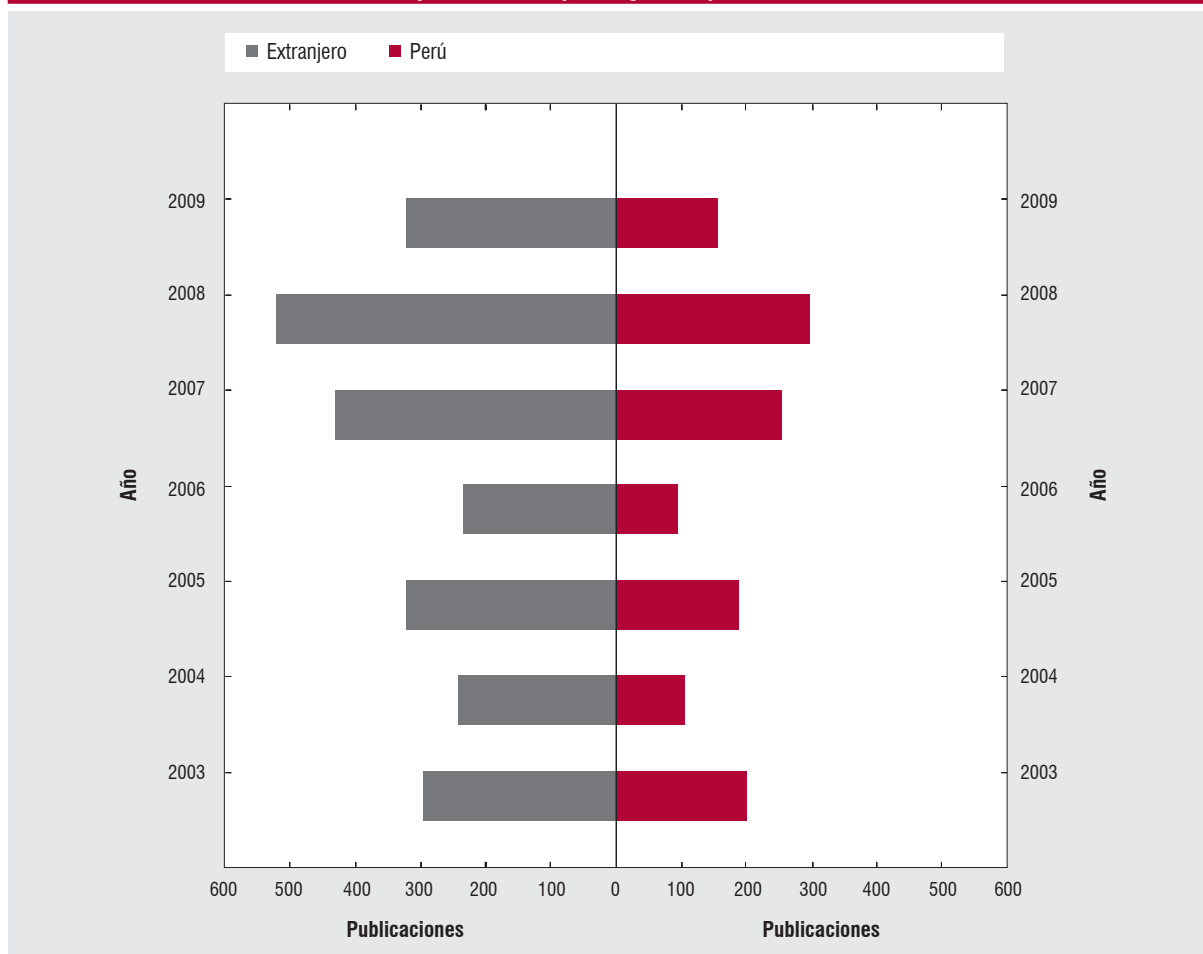


Gráfico A.4. Matriz de colaboración entre autores por países de residencia

	Perú	EE.UU.	Brasil	España	Inglaterra	Argentina	Francia	Alemania	Canadá	Bélgica	Chile	México	Italia	Suiza	Colombia	Ecuador	Venezuela	Bolivia	Países Bajos	Suecia	Australia	Japón	India
Perú	3446	1467	313	265	262	208	197	196	169	155	147	146	123	105	97	95	87	85	73	65	45	52	52
EE.UU.	1467	1533	129	52	140	113	71	57	71	43	54	70	49	55	51	62	47	41	28	25	34	26	32
Brasil	313	129	320	24	46	70	34	23	29	11	39	53	23	27	43	30	38	19	13	17	16	9	10
España	265	52	24	380	26	34	28	24	22	10	28	30	27	8	17	7	13	7	12	15	16	10	6
Inglaterra	262	140	46	26	277	34	24	19	22	17	23	18	23	32	20	25	23	18	13	10	19	10	22
Argentina	208	113	70	34	34	221	17	12	25	15	48	47	16	20	29	27	35	12	7	8	8	5	13
Francia	197	71	34	28	24	17	201	19	12	18	16	16	28	17	14	14	9	14	8	7	12	8	11
Alemania	196	57	23	24	19	12	19	197	11	20	15	8	25	10	11	17	8	10	7	7	6	7	5
Canadá	169	71	29	22	22	25	12	11	177	9	14	20	18	22	13	11	6	9	4	12	14	5	6
Bélgica	155	43	11	10	17	15	18	20	9	156	8	9	9	15	4	2	5	8	11	3	10	6	5
Chile	147	54	39	28	23	48	16	15	14	8	152	27	13	10	25	13	16	8	6	3	8	4	6
México	146	70	53	30	18	47	16	8	20	9	27	149	14	10	37	12	29	7	7	10	13	8	12
Italia	123	49	23	27	23	16	28	25	18	9	13	14	142	16	10	6	6	13	7	14	16	8	9
Suiza	105	55	27	8	32	20	17	10	22	15	10	10	16	107	8	12	1	4	7	13	11	8	17
Colombia	97	51	43	17	20	29	14	11	13	4	25	37	10	8	99	19	29	16	7	7	6	2	5
Ecuador	95	62	30	7	25	27	14	17	11	2	13	12	6	12	19	96	23	28	10	6	2	...	...
Venezuela	87	47	38	13	23	35	9	8	6	5	16	29	6	1	29	23	87	15	3	...	1	...	5
Bolivia	85	41	19	7	18	12	14	10	9	8	8	7	13	4	16	28	15	85	7	7	1	1	...
Países Bajos	73	28	13	12	13	7	8	7	4	11	6	7	7	7	7	10	3	7	79	1	6	4	4
Suecia	65	25	17	15	10	8	7	7	12	3	3	10	14	13	7	6	...	7	1	66	10	3	5
Japón	52	26	9	10	10	5	8	7	5	6	4	8	8	8	2	...	...	1	4	3	5	54	7
India	52	32	10	6	22	13	11	5	6	5	6	12	9	17	5	...	5	...	4	5	8	7	52

Gráfico A.5. Red de colaboración entre autores por países de residencia

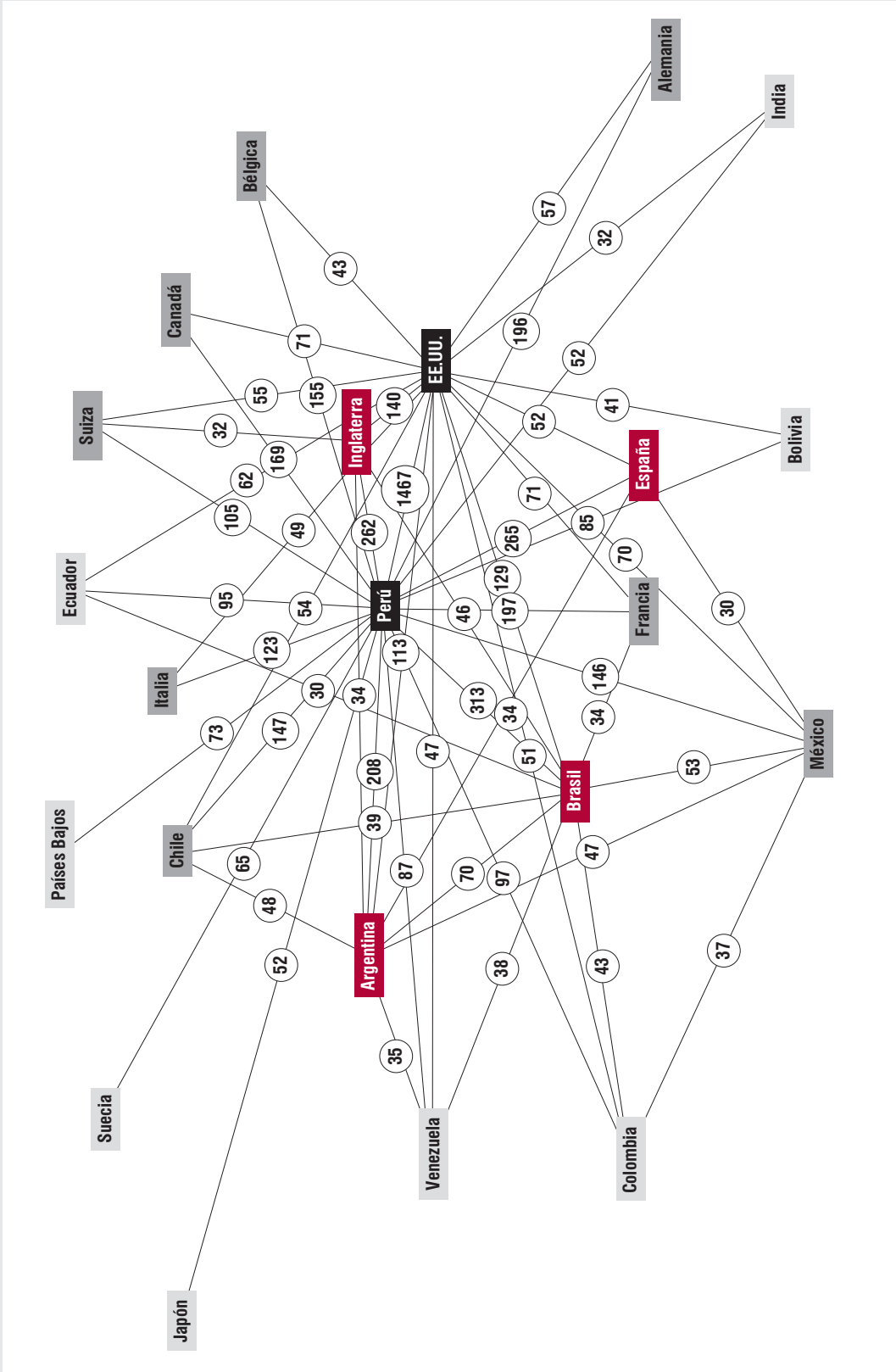
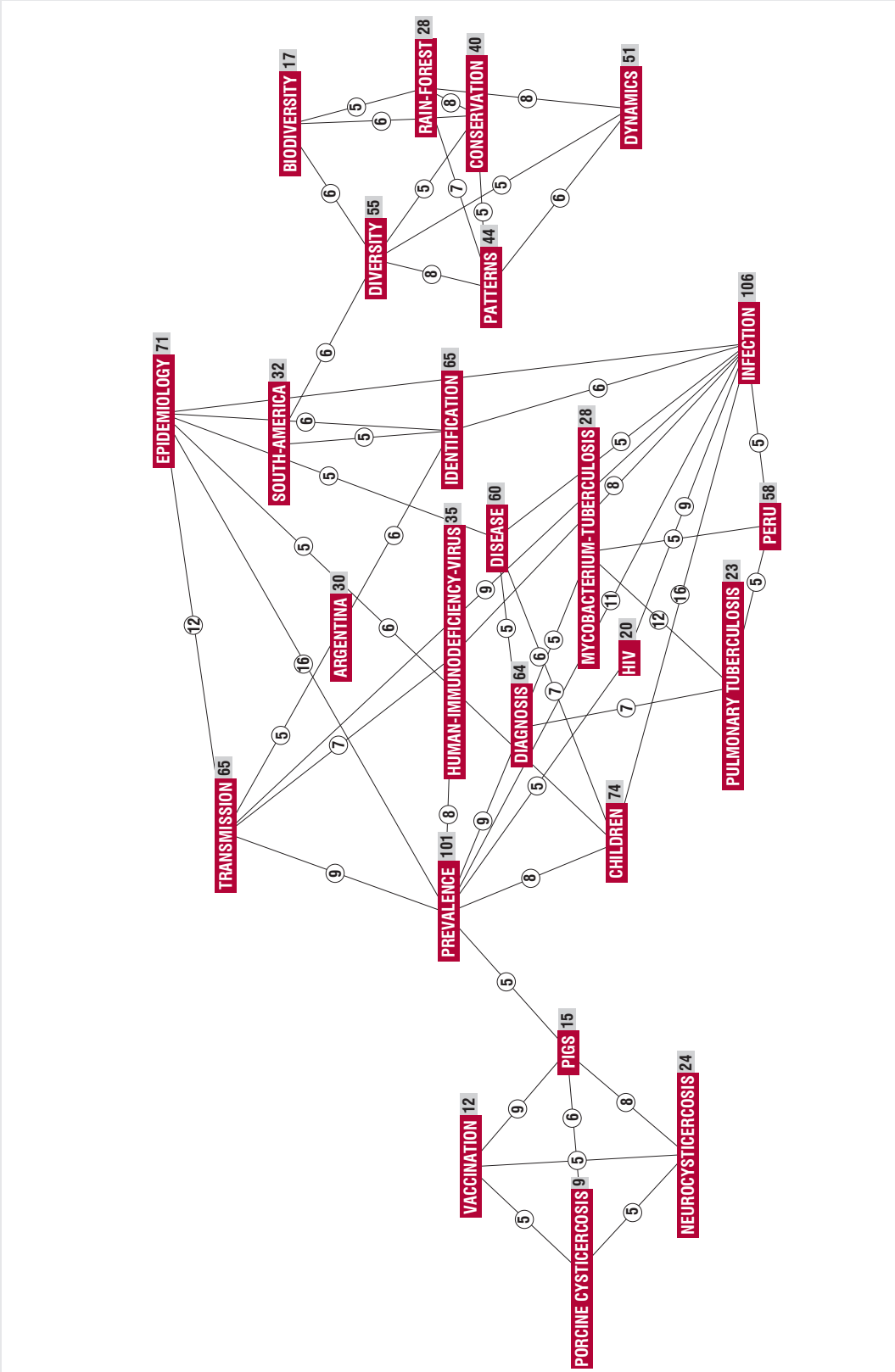
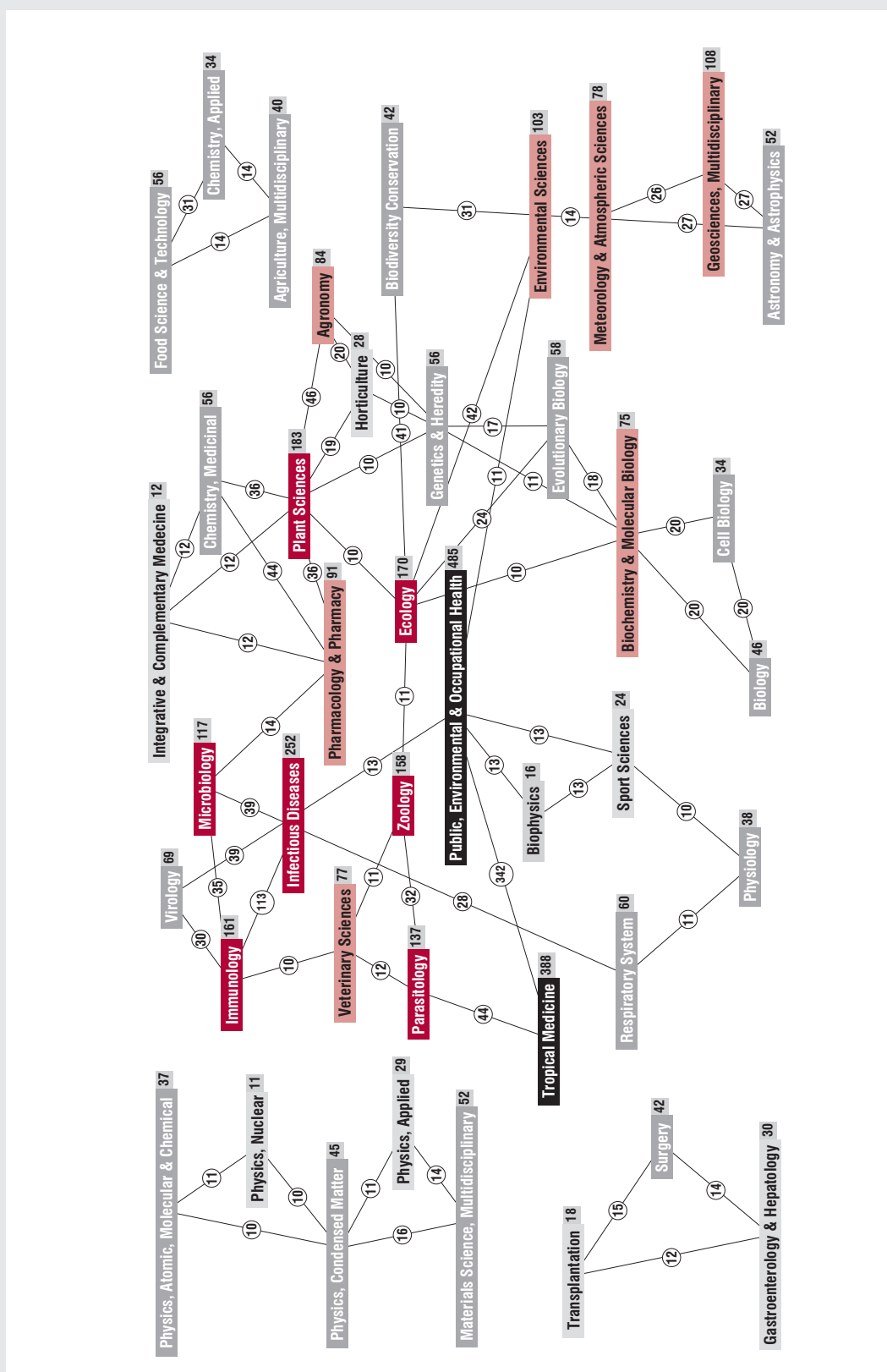


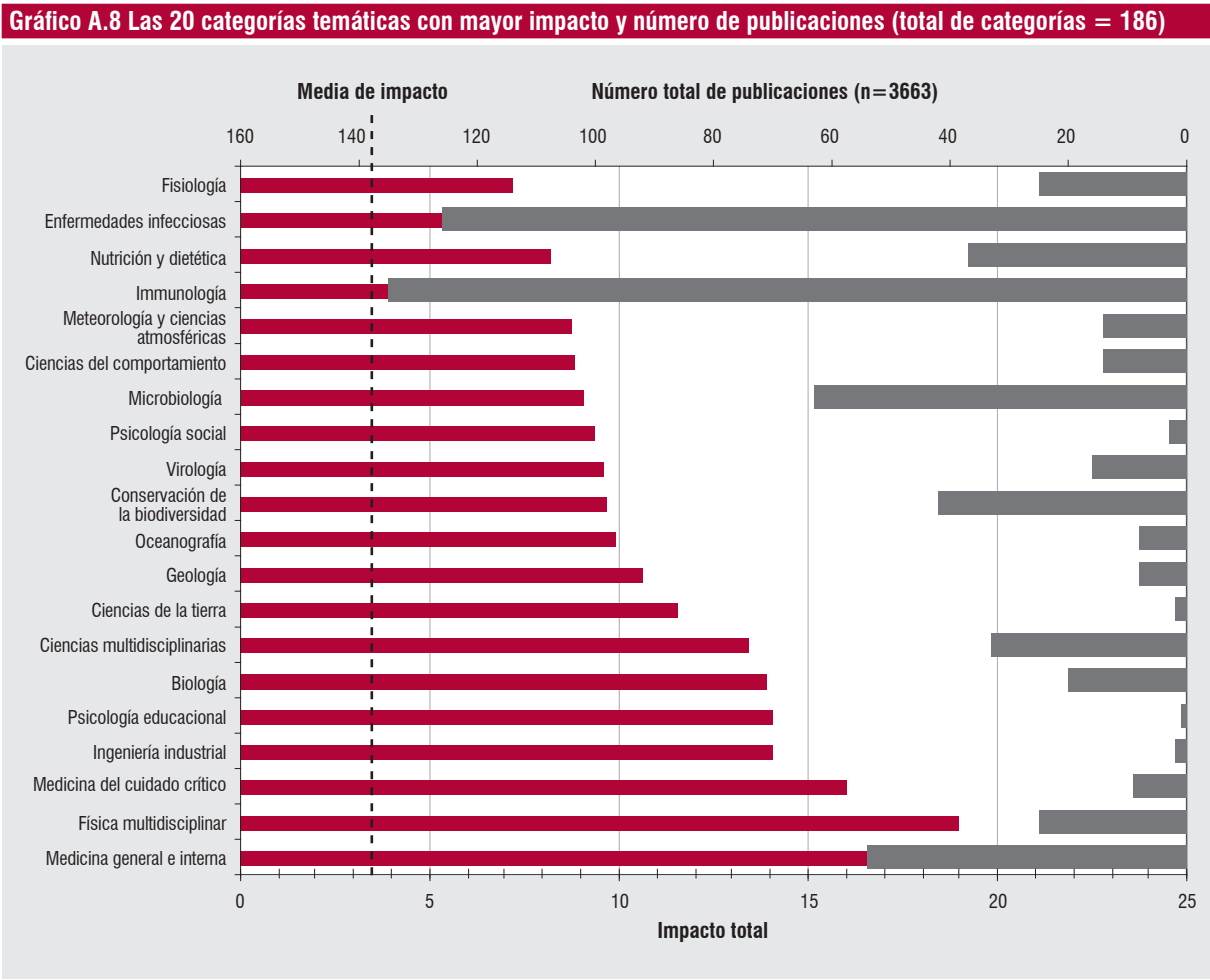
Gráfico A.6. Tendencias de investigación a partir de la co-ocurrencia de palabras clave, considerando el total de artículos



Nota: las palabras clave empleadas corresponden a las asignadas por el ISI.

Gráfico A.7. Tendencias de investigación a partir de las categorías temáticas sobre las que se realiza mayor número de publicaciones, considerando el total de artículos





Para llevar a cabo el análisis de las categorías temáticas se empleó una red un poco más compleja (para arrojar mayor información). En el análisis de las categorías temáticas aparecen seis categorías de importancia: salud (con interacciones hacia diversas áreas), ciencias de las plantas, ciencias del medio ambiente, física, ciencias y tecnologías de los alimentos y cirugía (también parte del área de salud) (gráfico A.7). En el área de salud predomina en lo general la salud pública, medioambiental y ocupacional, con gran énfasis en la medicina tropical y las enfermedades infecciosas (involucrando inmunología y microbiología). En buena medida, los estudios de inmunología presentan también relaciones con la zoología, las ciencias veterinarias y la parasitología.

En el área de ciencias de las plantas se perciben relaciones tanto hacia la farmacología y la química me-

dicinal, como hacia la agronomía, la bioquímica y la biología molecular. Respecto a las ciencias del medio ambiente, cuentan con mayor presencia las ciencias de la tierra, la meteorología y las ciencias de la atmósfera; lo anterior a la vez se relaciona con ecología, astronomía y astrofísica y conservación de la biodiversidad.

En cuanto a la física, la mayor intensidad de investigación ocurre en ciencia de los materiales, física de la materia condensada y física atómica, molecular y química. Por su parte, el área de ciencias y tecnologías de los alimentos tiene una importante relación con investigaciones sobre química aplicada. Finalmente, el área de cirugía se relaciona principalmente con gastroenterología y hepatología así como con temas de trasplantes.

Ahora bien, las tendencias de investigación que hemos visto reflejan el volumen de investigaciones y las áreas temáticas de mayor interés, pero para darnos una idea de la visibilidad internacional de estas investigaciones, es útil considerar también su impacto en las comunidades científicas. Los gráficos A.8 y A.9 comparan el número de artículos y su impacto por categorías temáticas tanto para el total de publicaciones, como para aquellas en las que el autor principal radica en el Perú.

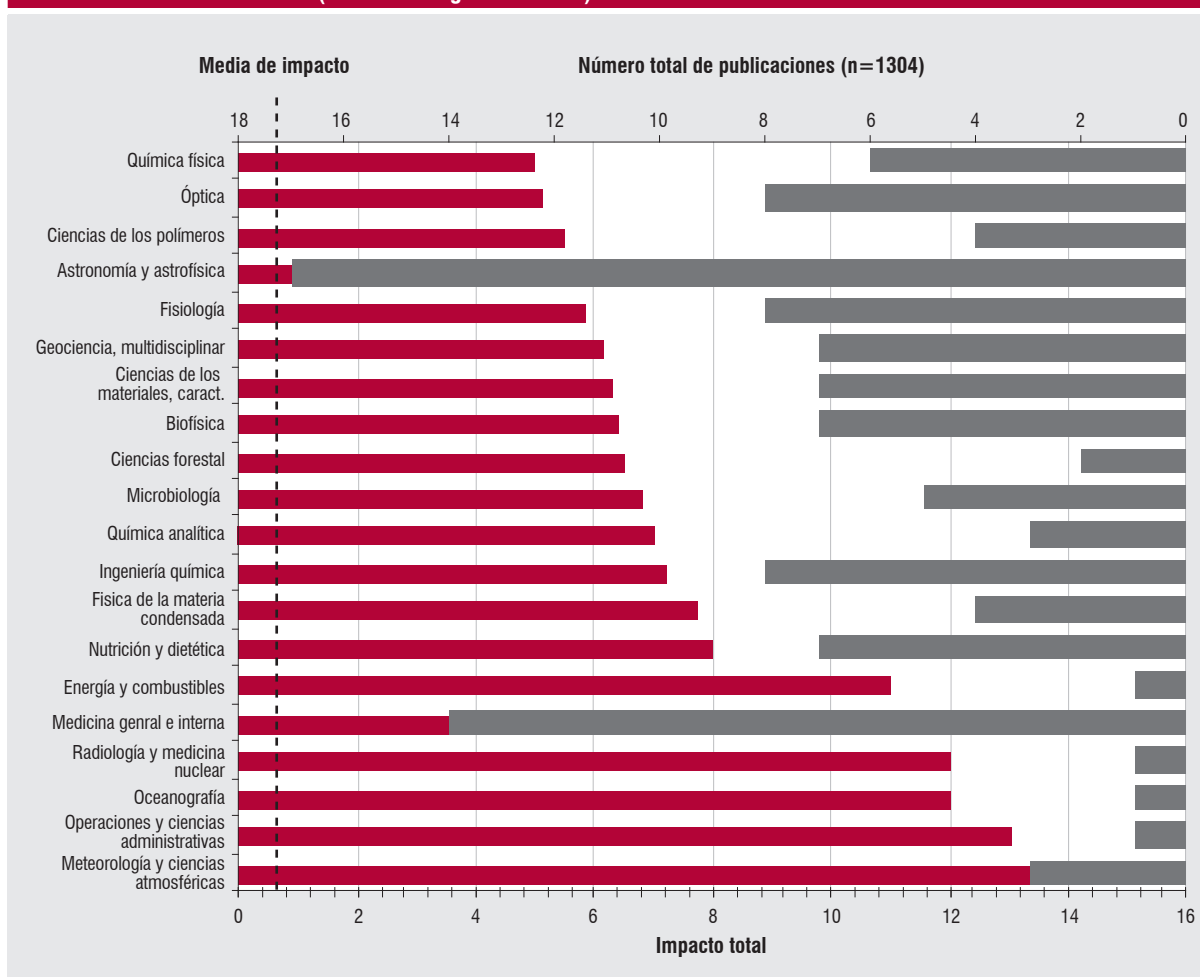
Tomando en cuenta el total de publicaciones (gráfico A.8), es evidente que las áreas de mayor impacto son la medicina general e interna, la física multidisciplinaria y la medicina del cuidado crítico. No obstante, las 20 temáticas incluidas en la gráfica muestran áreas de investigación con impactos de al menos el doble de la media de toda la producción. Cabe destacar

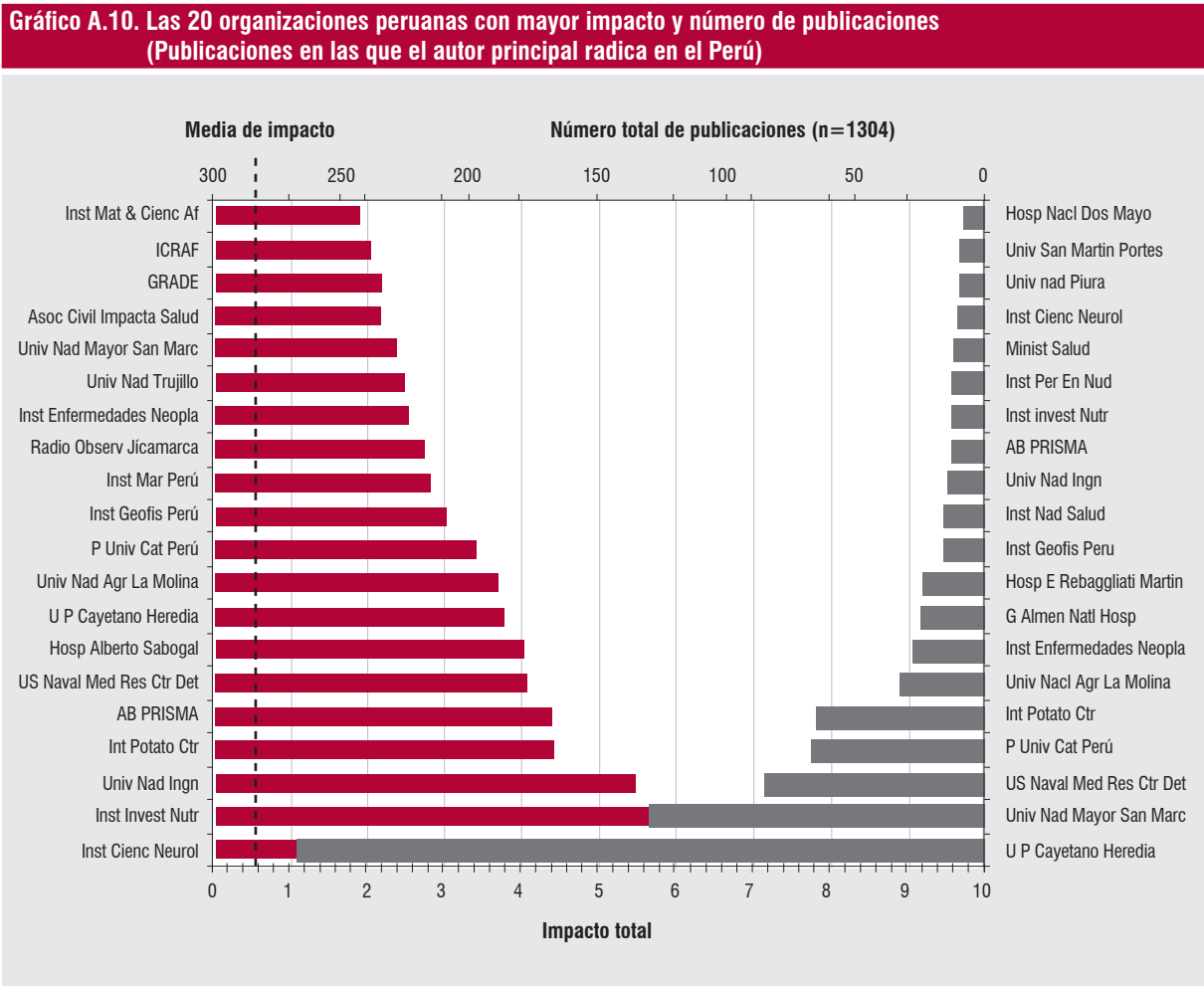
también, las áreas de inmunología, enfermedades infecciosas y microbiología, con elevada producción y buenos niveles de impacto.

Por otro lado, el gráfico A.9 muestra las áreas de mayor fortaleza de la producción científica peruana donde destacan la meteorología y ciencias atmosféricas, la investigación de operaciones y ciencias administrativas, la oceanografía y la medicina nuclear y radiología, como áreas de gran impacto aunque de muy baja producción. Igualmente, la medicina general e interna así como la astronomía y astrofísica muestran elevada producción científica y altos niveles de impacto.

El gráfico A.10 presenta a las 20 organizaciones peruanas cuyas publicaciones tienen mayor impacto y producción. Con respecto a la producción, sobresa-

Gráfico A.9. Las 20 categorías temáticas con mayor impacto y número de publicaciones cuando el autor principal radica en el Perú (total de categorías = 186)





len la Universidad Peruana Cayetano Heredia y la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, aunque es importante destacar que la producción de la primera es más del doble que la de la segunda. En lo concerniente al impacto, resaltan el Instituto Nacional de Ciencias Neurológicas, el Instituto de Investigación Nutricional y la Universidad Nacional de Ingeniería. No obstante, las 20 organizaciones se encuentran muy por encima de la media de impacto de las publicaciones cuyo autor principal radica en el Perú.

Sin embargo, para dimensionar y contextualizar estas fortalezas de investigación, el gráfico A.11 presenta la ubicación del Perú respecto a aquellos países en los que cuenta con socios de investigación. Es evidente que si bien un elevado porcentaje de los artículos tienen como primer autor a un investigador residente en el Perú, el impacto de sus trabajos se encuentra muy por debajo de la media del total de la muestra de artículos. Para complementar esta contextualización, a continuación se describen los resultados de pro-

ductividad científica.

El gráfico A.12 muestra un “mapa” general de productividad, en el cual cuanto más a la derecha se encuentre un país, más productivo será. Este mapa se basa en una nueva muestra de información de publicaciones compuesta por todos los artículos publicados de 2003 a 2009 con dirección en los países identificados como principales socios de investigación del Perú. En este caso de emplearon las bases de datos de ciencias, ciencias sociales y artes y humanidades. Dado que no se cuenta con estadísticas completas y confiables sobre el gasto nacional en investigación y desarrollo se empleó el PIB per cápita¹⁶.

Los resultados presentan claramente la baja productividad de los países latinoamericanos, con excepción de Brasil, que es el único por encima de la mediana de la muestra de países (líneas punteadas).

Gráfico A.11. Los 32 países con mayor impacto y número de publicaciones por país de residencia del primer autor (total de países: 68)

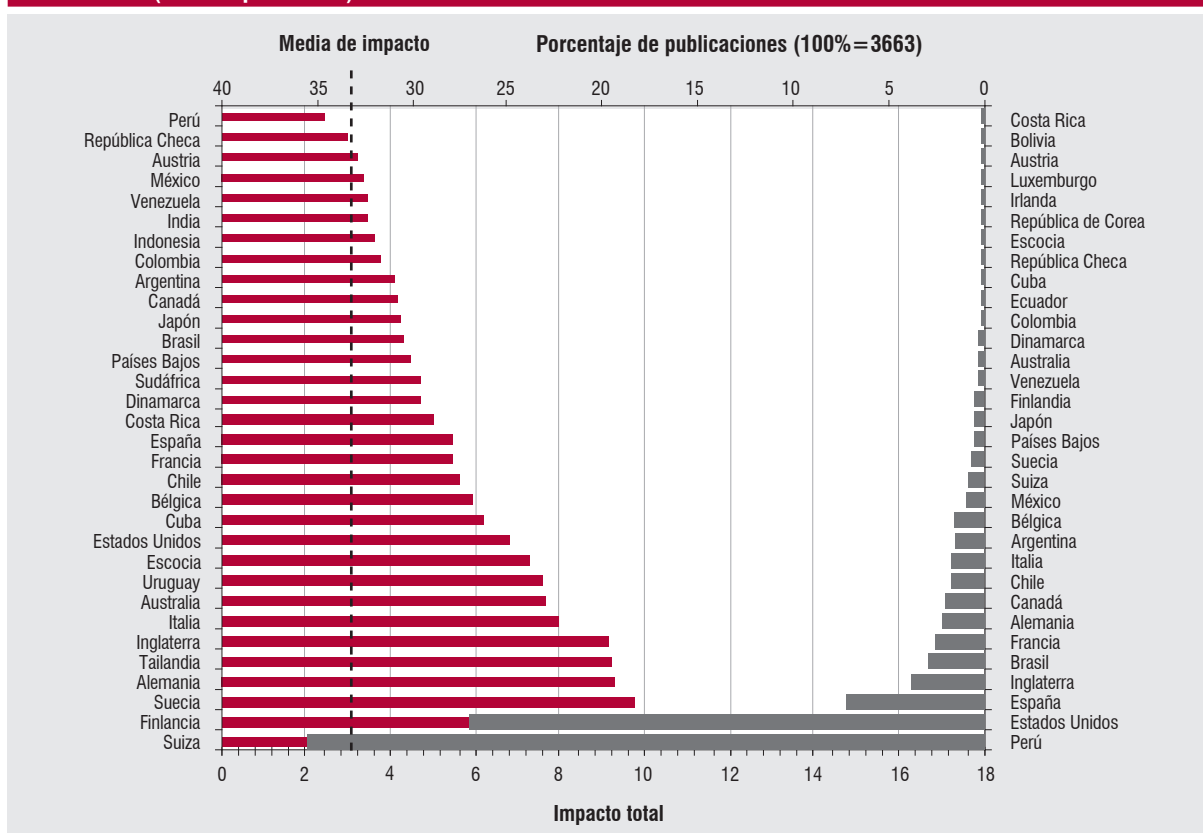
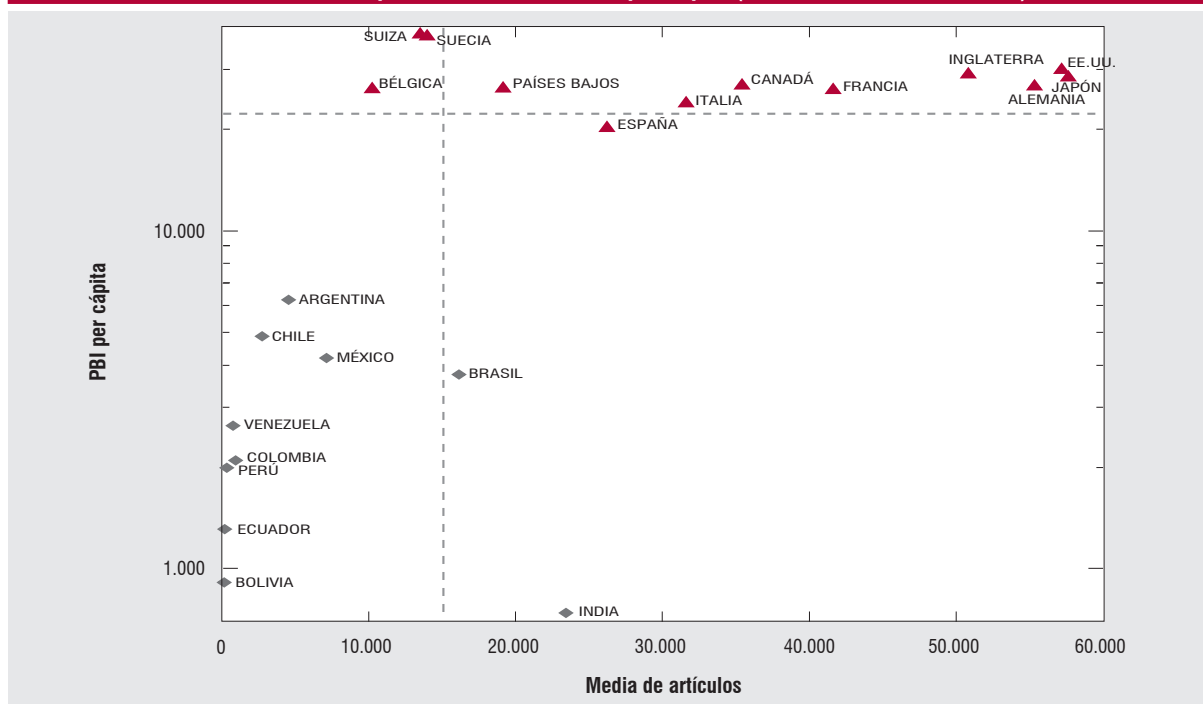


Gráfico A.12. Media de artículos respecto a la media del PIB per cápita (dólares constantes de 1990), 2003–2009



Nota: PIB per cápita en escala logarítmica;

ANEXO D. POLÍTICAS NACIONALES RELATIVAS A CTI

D.1. Las políticas del Acuerdo Nacional relativas a la CTI

DÉCIMO OCTAVA POLÍTICA DE ESTADO: Búsqueda de la competitividad, productividad y formalización de la actividad económica

Nos comprometemos a incrementar la competitividad del país con el objeto de alcanzar un crecimiento económico sostenido que genere empleos de calidad e integre exitosamente al Perú en la economía global. La mejora en la competitividad de todas las formas empresariales, incluyendo la de la pequeña y micro empresa, corresponde a un esfuerzo de toda la sociedad y en particular de los empresarios, los trabajadores y el Estado, para promover el acceso a una educación de calidad, un clima político y jurídico favorable y estable para la inversión privada así como para la gestión pública y privada. Asimismo, nos comprometemos a promover y lograr la formalización de las actividades y relaciones económicas en todos los niveles.

Con este objetivo el Estado: (a) consolidará una administración eficiente, promotora, transparente, moderna y descentralizada; (b) garantizará un marco legal que promueva la formalización y la competitividad de la actividad económica; (c) procurará una simplificación administrativa eficaz y continua, y eliminará las barreras de acceso y salida al mercado; (d) proveerá infraestructura adecuada; (e) promoverá una mayor competencia en los mercados de bienes y servicios, financieros y de capitales; (f) propiciará una política tributaria que no grave la inversión, el empleo y las exportaciones; (g) promoverá el valor agregado de bienes y servicios e incrementará las exportaciones, especialmente las no tradicionales; (h) garantizará el acceso a la información económica; (i) fomentará la investigación, creación, adaptación y transferencia tecnológica y científica; (j) facilitará la capacitación de los cuadros gerenciales y de la fuerza laboral; y (k) construirá una cultura de competitividad y de compromiso empresarial con los objetivos nacionales.

VIGÉSIMA POLÍTICA DE ESTADO: Desarrollo de la ciencia y la tecnología

Nos comprometemos a fortalecer la capacidad del

país para generar y utilizar conocimientos científicos y tecnológicos, para desarrollar los recursos humanos y para mejorar la gestión de los recursos naturales y la competitividad de las empresas. De igual manera, nos comprometemos a incrementar las actividades de investigación y el control de los resultados obtenidos, evaluándolos debida y puntualmente. Nos comprometemos también a asignar mayores recursos financieros mediante concursos públicos de méritos que conduzcan a la selección de los mejores investigadores y proyectos, así como a proteger la propiedad intelectual.

Con este objetivo el Estado: (a) asignará mayores recursos, aplicará normas tributarias y fomentará otras modalidades de financiamiento destinado a la formación de capacidades humanas, la investigación científica, la mejora de la infraestructura de investigación y la innovación tecnológica; (b) creará mecanismos que eleven el nivel de la investigación científica y el desarrollo tecnológico de las universidades, los institutos de investigación y las empresas; (c) procurará la formación de recursos humanos altamente calificados en los sectores productivos más promisorios para la economía nacional; (d) desarrollará programas nacionales y regionales de impacto productivo, social y ambiental; y (e) promoverá en toda la población, particularmente en la juventud y la niñez, la creatividad, el método experimental, el razonamiento crítico y lógico así como el afecto por la naturaleza y la sociedad mediante los medios de comunicación.

D.2. Los lineamientos de políticas relacionadas con la CTI del Plan estratégico de desarrollo Nacional propuesto por CEPLAN

PLAN PERÚ 21 Plan estratégico de Desarrollo Nacional - Proyecto para discusión, CEPLAN Marzo 2010

EJE ESTRATÉGICO 4: ECONOMÍA, COMPETITIVIDAD Y EMPLEO

A. OBJETIVO NACIONAL: Economía competitiva con alto nivel de empleo y productividad

B. LINEAMIENTOS DE POLÍTICA

Estructura productiva

1. Promover la articulación de las empresas exportadoras con las industrias de insumos, bienes de capital y servicios, con miras al desarrollo de ac-

tividades conexas de alto nivel tecnológico y valor agregado.

2. Impulsar la inversión en infraestructura logística y productiva local y regional, pública y privada, incluyendo la infraestructura de riego, y convertir las vías interoceánicas en corredores económicos longitudinales y transversales.
3. Promover la producción, el desarrollo empresarial local y el empleo, impulsando el desarrollo de industrias de transformación, con base en los sectores de producción exportable.
4. Fortalecer las industrias nacionales orientadas al mercado interno y promover su participación en los mercados internacionales.
5. Estimular la exploración y explotación minera con el enfoque de responsabilidad social y ambiental.
6. Concertar con las empresas mineras la transformación industrial de su producción, para incrementar el valor agregado preferentemente en el lugar de explotación.
7. Apoyar la investigación y desarrollo para aplicaciones de la producción minera en aleaciones ligeras para la microelectrónica y la robótica.
8. Promover el desarrollo de los servicios turísticos y de gastronomía, así como las actividades vinculadas a estos.
9. Promover el desarrollo del tercer sector o economía solidaria (cadenas productivas, alianzas estratégicas, subcontrataciones), para convertir la agricultura campesina en agricultura comercial y las MYPES en PYMES formales.
10. Posibilitar el acceso de todos los tipos de empresas, en especial de las MYPES, a los mercados financieros con igualdad de oportunidades, y promover el desarrollo empresarial en la conducción de las unidades de producción familiar en los ámbitos urbano y rural.
11. Regular y supervisar los monopolios para evitar el abuso de la posición de dominio.
12. Apoyar el desarrollo de las capacidades de gestión local, y el acceso a la información, a la transferencia tecnológica y al crédito.
13. Transformar la formación profesional universitaria estatal para alcanzar la calidad y competitividad internacionales y hacerla concordante con la modernización productiva.
14. Mantener mecanismos de diálogo y coordinación permanente entre las distintas entidades del sector público y entre el sector público y el sector privado, para definir temas estratégicos de desarrollo e instrumentos que permitan mejorar y con-

solidar la competitividad del sector productivo.

Competitividad e integración a los mercados globales

1. Promover acuerdos internacionales para la diversificación de nuestros mercados de exportación en un marco de reciprocidad, y aprovechar las ventajas de los acuerdos y tratados comerciales con Estados Unidos, la Unión Europea, el APEC, la CAN y el MERCOSUR.
2. Estimular la producción exportable competitiva con alto valor agregado, incentivar el establecimiento de una cadena logística y de información para el comercio exterior competitivo, apoyar la organización asociativa de PYMES en consorcios de exportación, y promover alianzas público-privadas para la inversión en infraestructura de comercio exterior.
3. Impulsar las exportaciones de productos ecológicos con el fin de incrementar su participación en el valor de las exportaciones.
4. Promover el uso de las tecnologías de información como forma de reducir costos, ampliar mercados y mejorar la competitividad.
5. Impulsar la integración física, comercial y económica con el Brasil.

Innovación y tecnología

1. Promover la investigación científica y tecnológica que se proyecte a la innovación con base en las prioridades del desarrollo y la inserción competitiva del Perú en la economía mundial.
2. Propiciar la disminución de las brechas de conocimiento científico y tecnológico con los países industrializados.
3. Asegurar un ambiente de competitividad, meritocracia y las buenas prácticas de investigación en las universidades y centros de investigación del Estado.
4. Promover una carrera profesional del investigador científico y tecnológico que revalore su papel y la oriente a la producción de conocimiento científico, tecnológico y de innovación para alcanzar estándares internacionales.
5. Promover, en el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica, una gestión eficiente, altamente profesional y desarrollada con criterios de competitividad internacional, ética pública, coordinación intersectorial y amplia participación, que a su vez sea informada, transparente en sus actos y desarrollada tecnológicamente en todas sus instancias.
6. Garantizar que el Sistema Nacional de Ciencia,

Tecnología e Innovación Tecnológica se convierta en factor favorable para el desarrollo de la competitividad nacional.

7. Promover el acercamiento de los centros de investigación de las universidades e instituciones públicas de investigación a las empresas, para realizar proyectos de investigación directamente vinculados con las necesidades del crecimiento económico.
8. Fomentar el desarrollo de actividades de ciencia, tecnología e innovación en los ámbitos nacional, departamental y local, y la generación de pequeñas y medianas empresas de base tecnológica, priorizando los polos tecnológicos.
9. Impulsar la construcción de una cultura científica y tecnológica nacional que aliente la creatividad, la investigación científica, el desarrollo tecnológico, y que favorezca la socialización y apropiación de la ciencia, tecnología e innovación, con miras a ser parte de la sociedad del conocimiento.
10. Fomentar la creación, modernización y permanente actualización de la infraestructura de investigación y desarrollo del país, en especial el establecimiento de parques científico-tecnológicos y tecnopolos de innovación.
11. Promover la co-responsabilidad pública y privada en el financiamiento de las actividades de ciencia, tecnología e innovación a nivel nacional y regional.
12. Impulsar el establecimiento de un sistema nacio-

nal de información de ciencia, tecnología e innovación incluyente y descentralizado.

13. Reforzar los mecanismos para garantizar el derecho a la propiedad intelectual y la defensa del conocimiento tradicional.

Objetivo específico 4: La innovación, el desarrollo tecnológico y la aplicación del conocimiento científico contribuyen constantemente al desarrollo de las actividades productivas y a su sostenibilidad ambiental

a. Indicadores y metas

b. Acciones estratégicas

- Establecer un Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología unificado.
- Implementar nuevas metodologías e instrumentos de financiamiento de la ciencia y la tecnología (fondos de investigación y desarrollo, priorización de proyectos, etc.).
- Identificar subsectores de mediana y alta tecnología en los que se tenga ventajas comparativas o competitivas, y desarrollarlos.
- Implementar medidas para incrementar la inversión privada nacional y extranjera en sectores productivos de mediana y alta tecnología.
- Establecer incentivos para fomentar las vocaciones en ramas de ciencias e ingenierías, así como la especialización en los niveles de pregrado y posgrado.
- Crear premios, distinciones e incentivos tributarios

a. Indicadores y metas

N°	Indicador	Fórmula del indicador	Fuente de información	Línea de base	Tendencia al 2021	Meta 2021
11	Proporción de profesionales de carreras de ingeniería, ciencias, medicina, biología y afines con respecto al total	Cantidad de profesionales de carreras de ingeniería, ciencias, medicina, biología y afines / Total de profesionales y técnicos	INEI	(2007) 22,9 %	s. i.	30%
12	Número anual de nuevas patentes	Número de solicitudes de patentes tecnológicas de residentes al año	INDECOPI	40	s. i.	100
13	Tasa de inversión en investigación, ciencia y tecnología	Inversión en investigación/ PBI	MEF	0,15%	s. i.	0,5%
14	Número de artículos peruanos publicados en revistas científicas indexadas	Número de artículos peruanos publicados en revistas científicas de acuerdo a Science Database	Red de Indicadores de CyT (www.ricyt.org)	600	s. i.	1500

para estimular el desarrollo de proyectos de ciencia y tecnología.

- Establecer prioridades para las investigaciones según campos científicos de acuerdo con las necesidades del país, y destinar financiamiento público para proyectos en los temas de mayor prioridad.
- Crear la carrera del investigador a fin de incorporar investigadores científico-tecnológicos con probada producción en publicaciones y patentes.
- Establecer un programa para la repatriación de talentos peruanos en el exterior.
- Crear un centro nacional de investigación científica y tecnológica para el desarrollo de sectores priorizados, tanto para realizar actividades de investigación básica como para apoyar a los sectores industriales de mediana y alta tecnología.

D.3. Las Políticas Nacionales de obligatorio cumplimiento para las entidades del Gobierno Nacional [DECRETO SUPREMO N° 027-2007-PCM]

Artículo 2º.- De las Políticas Nacionales

7. EN MATERIA DE EXTENSIÓN TECNOLÓGICA, MEDIO AMBIENTE Y COMPETITIVIDAD

- 7.1 Estimular dentro de cada institución del Gobierno Nacional y promover en la sociedad la difusión de actividades de investigación básica, investigación aplicada y de innovación tecnológica, estableciendo incentivos para la participación de investigadores en actividades de transferencia tecnológica en todas las regiones del país.
- 7.2 Promover actividades de ciencia, tecnología e innovación tecnológica en forma desconcentrada y descentralizada, a escala nacional, regional y local, concertando con instituciones privadas la realización conjunta de programas y proyectos de innovación tecnológica.
- 7.3 Aplicar políticas sectoriales para la incorporación de tecnologías básicas de riego, cocinas mejoradas, supresión de humos e instalación alejada de letrinas en los hogares, entre otras.
- 7.4 Apoyar la innovación tecnológica del sector productivo, principalmente a través de proyectos con participación empresarial.

7.5 Otorgar respaldo institucional a los investigadores, innovadores e inventores, en particular, a los jóvenes y talentos.

7.6 Promover e impulsar programas y proyectos de innovación tecnológica.

7.7 Apoyar las estrategias nacionales, regionales y locales de lucha contra la contaminación del medio ambiente.

7.8 Implementar las medidas de prevención de riesgos y daños ambientales que sean necesarias.

7.9 Promover el uso de tecnologías, métodos, procesos y prácticas de producción, comercialización y disposición final más limpias.

7.10 Proveer la información necesaria para el funcionamiento adecuado de los mercados e implementar y adoptar las medidas necesarias destinadas a mejorar el flujo de la información, con el propósito que las empresas identifiquen las oportunidades de negocios.

7.11 Capacitar a través de programas a los micro y pequeños empresarios, en materia de derechos de propiedad intelectual y contratación con el Estado.

La supervisión del cumplimiento de estas políticas corresponde al Ministerio de Educación.

ANEXO E. LA NANOTECNOLOGÍA EN AMÉRICA LATINA. LOS EJEMPLOS DE ARGENTINA Y BRASIL.

Argentina¹⁷

En Argentina, en los últimos años se han tomado medidas tendientes a fomentar la actividad en nanotecnologías. Los resultados han sido positivos y el panorama para los próximos años parece mantenerse en la misma línea. Según datos del Centro Argentino de Información Científica y Tecnológica (CAICYT), para el 2008, más del 4% del total de publicaciones científicas argentinas fueron sobre nanotecnología cuando en el 2003 sólo representaban el 3%. Según datos del Boletín Estadístico Tecnológico del MINCYT, entre 2003 y 2008, la tasa de crecimiento promedio anual de la producción científica en nanotecnología fue del 14%, mientras que para el total de publicaciones argentinas sólo llegó al 7%. Al comparar la producción de 2008 con respecto a la de 2003, se observa un marcado ascenso, pasando de 169 publicaciones a 327. Si bien Argentina aún se encuentra muy por detrás de los niveles de inversión de las principales potencias en estas tecnologías, ofrece buenas perspectivas para los años venideros de sostenerse el actual crecimiento en las publicaciones.

En el 2005, se constituyó la Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN) (Decreto 380/05), una entidad de derecho privado y sin fines de lucro, con el objetivo de promover el desarrollo de infraestructura humana y técnica para competir internacionalmente en la aplicación de micro y nanotecnologías y aumentar el valor agregado de la producción nacional. Así mismo, el gobierno anunció una inversión de 10 millones de dólares en este sector. Las principales actividades de la FAN comprenden:

- Construcción de laboratorios limpios y de diseño para desarrollar dispositivos micro y nanotecnológicos de calidad internacional.
- Entrenamiento y capacitación de recursos humanos.
- Investigación sobre el desarrollo de nano y micro dispositivos.
- Desarrollo de micro y nanotecnologías.

- Asesoramiento a instituciones públicas y privadas sobre el desarrollo y producción de micro y nanotecnología.
- Desarrollo de mercados para la inserción de la industria nacional en los mercados nacionales e internacionales de micro y nanotecnología

El trabajo de la FAN está orientado a promover la investigación aplicada, con especial énfasis en la innovación. La forma jurídica y legal de la FAN facilita la financiación de los distintos proyectos en una modalidad de capital de riesgo. Se proponen acciones de financiación contingente, pero también de apoyo a actividades estratégicas.

En 2007, la FAN pasó a la órbita del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCYT). Los objetivos prioritarios del nuevo ministerio son el desarrollo de la biotecnología, nanotecnología y TIC, que cuentan con el apoyo financiero del Banco Mundial.

La FAN financia proyectos de empresas o instituciones públicas nacionales que incorporen nanotecnologías a sus productos o servicios, al mismo tiempo que apoya y financia nichos "caso por caso". En 2006 comenzaron a otorgarse líneas de créditos y a partir de ese año se recibieron 20 ideas de proyectos de las cuales 10 resultaron elegidas. De los proyectos en cartera existentes, la mayoría pertenece al área de medio ambiente, tecnología espacial-satelital, y medicina. Entre los objetivos de la FAN para 2010, está la puesta en marcha de un proyecto de incubación de empresas.

Actualmente existen cuatro redes argentinas de nanotecnología, en las que investigan 200 científicos, la mayoría pertenecientes a la carrera de investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Las investigaciones en esta área son cooperativas y multicéntricas. El Instituto Balseiro (Bariloche), la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la Universidad de Buenos Aires, son lugares esenciales para la formación de nanocientíficos. Las cuatro redes dedicadas a la nanotecnología en Argentina son:

- 1) Red Argentina Nanociencia y Nanotecnología: Materiales nanoestructurados y nanosistemas
- 2) Autoorganización de bionanoestructuras para la transmisión de información molecular en neurobiología y procesos biológico

- 3) Laboratorio en Red para el Diseño, Simulación y Fabricación de Nano y Micro Dispositivos, Prototipos y Muestras-Nodo
- 4) Red Argentina de Nanociencia y Nanotecnología Molecular, Supramolecular e Interfases.

Se considera que Argentina está actualmente en condiciones de desarrollar proyectos en el campo de las micro y nanotecnologías. Entre los organismos que destacan por sus capacidades en estas áreas encontramos a la CNEA, el CONICET, la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires, la Universidad de La Plata, y un Centro de Desarrollo de la Nanociencia y Nanotecnología. Además, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial posee varios grupos de I+D en áreas relacionadas y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, tiene interés específico en incorporar actividades para el desarrollo de la nanobiotecnología.

En Argentina existen unas veinte empresas nacionales dedicadas al desarrollo en ésta área. Cuatro de ellas han creado y financiado el Centro Interdisciplinario de Nanociencia y Nanotecnología (CINN). Entre las áreas de trabajo del CINN se destacan la síntesis y caracterización de moléculas y nanoestructuras, autoensamblados moleculares y superficies funcionalizadas, fabricación y caracterización de materiales nano y microestructurados, modelado teórico y computacional en la nanoescala, y el diseño de materiales y dispositivos. Este centro tiene un presupuesto de alrededor de 4 millones de dólares durante cuatro años para instrumental, proyectos industriales y la financiación de una beca posdoctoral, además de la repatriación de 12 científicos jóvenes y la culminación de 60 doctorados.

Entre las principales debilidades del desarrollo de la nanotecnología en Argentina encontramos la falta de financiación para emprendimientos de alta tecnología, lo cual afecta el desarrollo de empresas exportadoras de productos de alta incorporación de tecnologías. Asimismo, se detecta una brecha importante entre las ciencias naturales y la ingeniería, y la formación científica no está dirigida al desarrollo de emprendimientos.

Sin embargo, también hay muchos puntos a favor, como el buen equipamiento para investigación básica en centros como la CNEA o el Instituto Balseiro, una intensa participación y colaboración con científicos en otras partes del mundo, y el retorno de muchos científicos argentinos en los últimos años.

Brasil¹⁸

En el año 2001, Brasil lanzó la *Iniciativa Brasileira em Nanotecnologia*, que culminó en el *Programa de Desenvolvimento da Nanotecnologia e Nanociencia* del Plan Plurianual 2004-2007 (2003) del Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT).

El *Llamado CNPq Nano n° 1/2001* fue la primera acción del Estado brasileño para estimular el desarrollo de la nanotecnología. Los objetivos de este llamado eran, entre otros, fomentar la constitución y consolidación de redes de investigación básica y aplicada en nanotecnología, organizadas como centros virtuales de carácter multidisciplinario y de porte nacional, a través del apoyo a proyectos de investigación científica y/o de desarrollo tecnológico, en las líneas de investigación identificadas (CNPq, 2001). Se constituyeron cuatro redes de investigación en nanotecnología con un presupuesto inicial de cerca de 1,75 millones de dólares. Este llamado recibió 27 propuestas y aprobó 12 de ellas. Sin embargo, el propio Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) había realizado inversiones en equipamientos ya en 1987.

Como resultado de la *Iniciativa Brasileira em Nanotecnologia*, se crearon cuatro redes de investigación, las cuales entre 2002 y 2005 involucraron a 300 investigadores, 77 instituciones educativas y de investigación, y 13 empresas; se publicaron más de 1.000 artículos científicos y se depositaron más de 90 patentes. Las cuatro redes recibieron entre el 2001 y el 2005 un total de aproximadamente 5,7 millones de dólares (MCT, 2006). Estas cuatro redes de investigación cooperativas concluyeron sus actividades oficialmente en el 2005.

La acción gubernamental de fomento de redes de investigación en nanotecnología continuó a través del *Llamado MCT/CNPq n° 29/2005* que propició la creación de diez redes (Programa Rede BrasilNano), con recursos de aproximadamente 15 millones de dólares para cuatro años (MCT, 2006). Sus actividades se centran en la adquisición de equipamientos, eventos de integración e implementación de infraestructura adecuada. Hasta el primer semestre de 2006 no obtuvieron resultados concretos tales como productos, procesos, patentes o servicios.

El Programa de Desenvolvimento da Nanotecnologia e Nanociencia del Plan Plurianual 2004-2007 del MCT, se centró en la generación de patentes, productos y procesos en el área, aseguró el apoyo de la investigación básica, el fortalecimiento de las redes existentes y las infraestructuras de laboratorio.

En 2005, se lanzó el Programa Nacional de Nanotecnología (PNN) y se creó el Centro Argentino-Brasileño de Nanociencia y Nanotecnología (CABNN). Los objetivos del PNN, comprendían: cumplir con demandas estratégicas relacionadas con el desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología, incluyendo la gestación y administración del Programa de Desarrollo de Nanociencia y Nanotecnología y el apoyo a Redes de Laboratorios de Nanotecnología; fomentar proyectos institucionales de investigación y desarrollo

en nanociencias, micro y nanotecnologías, así como implantar laboratorios y redes de micro y nanotecnología. Otros objetivos del CABNN incluyen coordinar la integración de grupos de investigación y redes de empresas de Argentina y Brasil a través de proyectos definidos, y formar una masa crítica de recursos humanos en un área interdisciplinaria entre la física, la química, la biología y la ingeniería, para luego implementar proyectos de investigación conjunta.

NOTAS

¹ Andersen 1994

² Véase: Freeman, 1987; Lundvall, 1992a; Nelson, 1993

³ Es importante enfatizar que el concepto de instituciones se refiere a "reglas del juego" en el contexto de las naciones, tales como legislación, reglamentos, usos y costumbres, etcétera, y no debe confundirse con organizaciones.

⁴ La referencia clásica en este sentido es (Edquist 1997); véase también (McKelvey 1991). Adicionalmente, los trabajos recientes de los proponentes originales del concepto, usualmente hacen referencia a las diferencias entre los distintos enfoques (Freeman 1995, 2002; Lundvall et al., 2002; Nelson and Nelson, 2002).

⁵ Dalum et al. 1992

⁶ OECD 1994, 1999, 2002b; Edquist et al. 1998; Soete and STRATA-ETAN Expert Group 2002

⁷ En un proceso que va de la percepción a la analogía y posteriormente al isomorfismo (Beer 1984).

⁸ General Systems Theory (von Bertalanffy 1968).

⁹ Esto se refleja principalmente en el debate (tal vez irresoluble) relativo a los límites o fronteras adecuadas para analizar sistemas de innovación.

¹⁰ Enero 2003 – segunda quincena noviembre 2009

¹¹ Las revistas indizadas deben cumplir con diversos criterios que garanticen su calidad y utilidad para las comunidades científicas. Siempre hay un ligero sesgo y limitaciones al emplear estas bases de datos, ya que predominan las publicaciones en inglés. No obstante, reflejan la visibilidad en los medios más relevantes que emplean las comunidades científicas para difundir sus investigaciones.

¹² Institute of Scientific Information.

¹³ Se incluyeron sólo las bases de datos de ciencias y ciencias sociales.

¹⁴ En este estudio, por ejemplo, el Perú tiene coautorías con 67 países; una red con 68 nodos es tan compleja que resulta completamente incomprensible y oculta las relaciones más relevantes.

¹⁵ Los porcentajes se refieren a las coautorías tomando en cuenta solamente a los países del Gráfico 5.

¹⁶ Las fuentes de información empleadas fueron: National Accounts Statistics database of main aggregates, United Nations Statistics Division, para la información económica; y el U.S. Census Bureau, Population Division, para la información demográfica. Para realizar algunos ajustes al caso del Reino Unido, ya que la información de publicaciones se refiere a Inglaterra como país, se emplearon datos de Office for National Statistics, UK Government.

¹⁷ Ver Malsch TechnoValuation, 2007

¹⁸ Ver Martins et al. (2006)

