

Sistemas de innovación y cambios en la división centro-periferia: notas sobre una metodología para determinar las trayectorias de los países a partir de las estadísticas de ciencia y tecnología¹

Catari Vilela Chaves, Leonardo Costa Ribeiro, Ulisses Pereira dos Santos y Eduardo da Motta e Albuquerque

Resumen

En este artículo se presenta una metodología para evaluar la posición de los sistemas nacionales de innovación en el contexto internacional. Los datos de patentes, artículos científicos, población y producto interno bruto (PIB) de todos los países relativos a 1974, 1982, 1990, 1998, 2006, 2012 y 2014 constituyen la base para la aplicación de esta metodología de agrupación de países. Además de determinar un umbral entre los grupos (la división centro-periferia interpretada por los datos de ciencia y tecnología), es posible captar su movimiento impulsado por las revoluciones tecnológicas en el centro. El resultado es un marco dinámico, que supone un reto cada vez mayor para la implementación de procesos de convergencia.

Palabras clave

Ciencia y tecnología, innovaciones, capitalismo periférico, política de ciencia y tecnología, desarrollo económico, países desarrollados, países en desarrollo, países menos adelantados, estudios de caso, estadísticas de la ciencia y la tecnología, Brasil

Clasificación JEL

O30, O33, O57

Autores

Catari Vilela Chaves es profesora y coordinadora de investigación en el Departamento de Ciencias Económicas de la Pontificia Universidad Católica de Minas Gerais, Brasil. Correo electrónico: catari@pucminas.br.

Leonardo Costa Ribeiro es profesor adjunto en el Departamento de Ciencias Económicas de la Universidad Federal de Minas Gerais, Brasil. Correo electrónico: leonardocostaribeiro@gmail.com.

Ulisses Pereira dos Santos es profesor adjunto en el Departamento de Ciencias Económicas de la Universidad Federal de Minas Gerais, Brasil. Correo electrónico: ulisses@cedeplar.ufmg.br.

Eduardo da Motta e Albuquerque es profesor en el Departamento de Ciencias Económicas de la Universidad Federal de Minas Gerais, Brasil. Correo electrónico: albuquer@cedeplar.ufmg.br.

¹ Se agradecen el apoyo del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) (Procesos 302857/2015-0 y 401054/2016-0) y los comentarios críticos y las sugerencias formuladas por un árbitro anónimo a una versión previa de este artículo. Los errores son de responsabilidad exclusiva de los autores.

I. Introducción

En este artículo se presenta una metodología basada en estadísticas de ciencia y tecnología para evaluar la posición de los sistemas nacionales de innovación en el contexto internacional. Además de establecer la posición de sistemas nacionales de innovación específicos, esta metodología permite el seguimiento de las trayectorias intertemporales de países seleccionados. Por último, el procedimiento permite agrupar a los países de acuerdo con las características cuantitativas de sus sistemas de innovación, contribuyendo a evaluar la existencia y el movimiento de la división centro-periferia a partir de los datos de ciencia y tecnología.

El concepto de sistema nacional de innovación aparece en la literatura a fines de la década de 1980 (véanse Freeman, 1987; y la sección sobre sistemas nacionales de innovación del libro editado por Dosi y otros, 1988). En los últimos 30 años, los sistemas de innovación han sido objeto de un enorme trabajo teórico. Teixeira (2014) presenta los resultados de esa labor en un estudio bibliométrico que sistematiza la difusión y el enriquecimiento del concepto. Otra evidencia de la consolidación del concepto en la literatura sobre economía, en particular economía de la tecnología, es la inclusión del tema en los manuales de esa materia (véanse Fagerberg, Mowery y Nelson, 2005, capítulo 7; Hall y Rosenberg, 2010, capítulo 27).

El conjunto de estudios sobre los sistemas de innovación planteó nuevos desafíos, entre ellos la aplicabilidad del concepto a los países de la periferia capitalista. De este tema se ocuparía un grupo de investigadores situado en el llamado Sur Global (Coutinho y Suzigan, 1991; Villaschi, 1992; Cassiolato, Lastres y Maciel, 2003; Viotti, 2002; Silva, 2003). El surgimiento de iniciativas como Globelics en 2003 (encabezada por Lundvall) y el Proyecto Catch Up en 2005 (encabezado por Nelson) permitió importantes avances en la definición de nuevos aspectos para los investigadores que se ocupaban del tema. Los trabajos de Lundvall y otros (2009) y Nelson (2004) constituyen dos resultados importantes.

El punto de partida de este artículo es la posibilidad de evaluar los sistemas de innovación por medio de estadísticas seleccionadas, como sugirieron en forma pionera Patel y Pavitt (1994). Desde entonces se ha creado toda una tradición de estudios empíricos basados en estadísticas de patentes y artículos científicos, directa o indirectamente relacionados con los sistemas de innovación (véase una reseña exhaustiva en Moed, Glänzel y Schmoch, 2004). La hipótesis básica de este artículo se funda en la sugerencia de que las estadísticas sobre patentes y artículos científicos sintetizan y resumen la evaluación de los componentes esenciales de los sistemas de innovación: la tecnología producida por las empresas, el conocimiento científico producido por las universidades y las instituciones de investigación, y la interacción entre ellas.

El artículo se divide en seis secciones, incluida esta introducción. En la segunda se realiza una revisión de la literatura sobre las etapas de construcción de los sistemas de innovación y los regímenes de interacción entre ciencia y tecnología. Las bases de datos sobre la producción científica y tecnológica y el indicador de desarrollo económico se describen en la tercera sección, junto con la metodología desarrollada. En la cuarta se explican las trayectorias intertemporales de los umbrales de producción de ciencia y tecnología de los países que componen cada régimen. En la quinta se presenta una nota sobre el caso brasileño, en que la posición y la trayectoria del Brasil se articulan con una evaluación preliminar de la estructura industrial nacional. Por último, en la sexta sección se detallan las principales conclusiones del trabajo.

II. Sistemas nacionales de innovación: diferenciación, medición y tipología

Antes de la definición del concepto de sistema de innovación, en la literatura neoschumpeteriana ya se había sistematizado una interpretación del papel de las revoluciones tecnológicas en la dinámica del sistema capitalista a largo plazo (véase el número especial de la revista *Futures*, editada por Freeman en 1981, posteriormente publicado como libro (Freeman, 1983)). El desarrollo teórico sobre el papel de las revoluciones tecnológicas se resume en Freeman y Louçã (2001) y Pérez (2010).

Las revoluciones tecnológicas están en la raíz de las metamorfosis del capitalismo (Furtado, 2002) que reconfiguran periódicamente el sistema en su conjunto. El surgimiento del concepto de sistema de innovación se relaciona con la dinámica de las revoluciones tecnológicas de dos maneras. En primer lugar, las revoluciones tecnológicas son el resultado de las instituciones que constituyen los sistemas de innovación: al sistematizar el conjunto de instituciones que impulsan el progreso tecnológico, el análisis de los sistemas de innovación ayuda a comprender las raíces de las revoluciones tecnológicas. En segundo lugar, la sistematización de la relación entre las revoluciones tecnológicas y las metamorfosis del capitalismo sugiere que los sistemas de innovación se deben transformar periódicamente, en función de esos cambios.

El marco dinámico que resulta de la articulación entre estos dos elementos de la teoría neoschumpeteriana tiene importantes repercusiones en la labor de cuantificación de los sistemas de innovación. Estos sistemas no pueden evaluarse estáticamente, sino que es necesario captar los cambios a lo largo del tiempo.

El marco teórico ofrecido por la combinación de las revoluciones tecnológicas y los sistemas de innovación planteaba dos desafíos. Por una parte, la diferenciación entre los sistemas de innovación —evidente desde los primeros estudios comparativos (Nelson, 1993)— determinaba la construcción de tipologías de sistemas de innovación. Por otra parte, esas tipologías deberían incluir la posibilidad de cambios a lo largo del tiempo, tanto dentro de los sistemas de innovación como en el contexto internacional resultante.

Freeman (1995) fue pionero en la proposición de una tipología, al sugerir una diferenciación entre cuatro tipos: sistemas de países avanzados (ejemplificados por el Japón), países de Asia Oriental, países de América Latina y la antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas. El autor abrió una discusión sobre la particularidad y la diferenciación entre los países periféricos, ilustradas mediante el contraste entre América Latina (que permanece en la periferia) y la República de Corea y la provincia china de Taiwán, capaces de realizar procesos de convergencia y salir de la periferia. La estructura del libro organizado por Nelson (1993) sugiere otra manera de organizar la diferenciación entre los sistemas de innovación.

Un tema teórico importante es la articulación entre el análisis de los sistemas de innovación y la literatura sobre variedades de capitalismo. Las importantes y significativas diferencias estructurales entre los diversos tipos de sistemas de innovación pueden articularse con las descripciones institucionales que construyen las diversas variedades de capitalismo. La literatura sobre variedades de capitalismo se ha concentrado en el análisis de los países centrales (por ejemplo, Coates, 2000). El estudio de las diferentes variedades de capitalismo en la periferia en general y en América Latina en particular constituye un desafío. Ribeiro y otros (2015, págs. 173-174) sugieren cinco tipos de capitalismo diferentes que involucran a países de la periferia y países donde se verificaron procesos de convergencia, a saber: i) India; ii) República de Corea y provincia china de Taiwán; iii) China; iv) países ricos en recursos naturales, como Sudáfrica, y países de Oriente Medio y del Norte de África; y v) América Latina. Posiblemente existe otra variedad de capitalismo periférico, representada por

la Rusia posterior a 1991 (Ribeiro y Albuquerque, 2015, pág. 178). Esta articulación es importante para ampliar la comprensión de que la literatura sobre los sistemas de innovación describe arreglos institucionales mucho más abarcadores que las instituciones de ciencia y tecnología.

Desde 1995 se observa una profusión de estudios sobre sistemas de innovación y casos específicos —cuya sistematización no es objeto de este artículo— que se pueden reexaminar en trabajos como el de Teixeira (2014). El marco de referencia de los sistemas de innovación dio lugar a artículos en los que se sistematizaron, incluso de forma bastante minuciosa, las características de los sistemas de innovación de África (Kruss, Adeoti y Nabudere, 2012), América Latina (Dutrénit y Arza, 2010) y Asia (véase el número especial de *Seoul Journal of Economics*, editado por Keun Lee, en 2009).

De esta amplia y detallada literatura surge un desafío para la elaboración de una tipología basada en datos estadísticos, que contribuya a sistematizar de alguna manera las diferenciaciones indicadas en la literatura y, al mismo tiempo, captar el eventual movimiento intertemporal de los sistemas de innovación.

III. Elementos cuantitativos para una tipología de sistemas de innovación

Si bien el análisis estadístico aquí propuesto se sustenta especialmente en una medida de riqueza, utilizada como variable sustitutiva del nivel de desarrollo económico, en este trabajo se asume una perspectiva más amplia de este fenómeno. El desarrollo se interpreta aquí como un proceso de cambio estructural basado en la profundización de la distribución del ingreso y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población (Furtado, 2002; Fajnzylber, 2000). En otras palabras, el desarrollo es un proceso integral, basado en el crecimiento económico y la distribución de los beneficios alcanzados a partir de la creación o la internalización y adecuación de nuevas tecnologías. Se destaca que los autores que investigaron el subdesarrollo o el desarrollo comparado captaron importantes relaciones entre el cambio en la estructura productiva, el proceso de distribución del ingreso y la ampliación de las capacidades científicas y tecnológicas nacionales.

De acuerdo con Furtado (1987), la inadecuación tecnológica derivada de la importación de tecnologías no alineadas con las especificidades locales constituye uno de los principales desequilibrios del proceso de industrialización tardía. Fajnzylber (2000) también indica que este aspecto estaría entre las principales causas de la profundización de la concentración del ingreso en las economías menos desarrolladas. Para este autor, la inexistencia de un “núcleo endógeno generador de tecnología” —un concepto similar al de sistema nacional de innovación— limitaría la capacidad interna para abrir la “caja negra” del progreso técnico, llevando a los países de la periferia a priorizar la imitación en detrimento de la creación de tecnologías propias acordes con las carencias y las potencialidades locales. En este sentido, Fajnzylber (2000) expone la forma en que las contradicciones de la industrialización en la periferia, la principal de las cuales es la desigualdad social, estarían alineadas con su escasa participación en actividades científicas y tecnológicas.

Al comparar la industrialización tardía y el proceso de convergencia en los países de Asia Oriental y América Latina, Freeman (1995) señala que algunos elementos relacionados con el mejoramiento de las condiciones de vida de la población —como la universalización de la educación— serían determinantes en la diferencia observada en las trayectorias de desarrollo de los países de estas regiones a partir de la década de 1980. En la misma línea, Amsden (2009) indica que, además del fortalecimiento de la clase empresarial nacional, la distribución del ingreso y la creación de capacidades tecnológicas internas estarían asociadas en el proceso de convergencia de las economías de Asia Oriental, a diferencia de lo que se observó en la América Latina.

A partir de estos aportes, se entiende que el desarrollo de capacidades científicas y tecnológicas internas es fundamental para el proceso de desarrollo económico en su perspectiva más amplia. En otras palabras, el fortalecimiento de los actores del sistema nacional de innovación contribuiría al crecimiento del ingreso, la distribución de la riqueza y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población. En este sentido, sería solo a partir de la estructuración de un sistema nacional de innovación integral que la industrialización de la periferia podría contemplar las especificidades nacionales, de manera de explotar sus potencialidades y corregir los desequilibrios actuales. Así, el proceso de convergencia se asume no solo como un proceso de aumento del ingreso y de la producción científica y tecnológica local, sino también como un proceso de transformación social más amplio y del que estas variables forman parte. De esta forma, se comprenden las limitaciones del ejercicio estadístico propuesto, subrayando, sin embargo, que la mejora en las variables de ciencia y tecnología, en particular, puede indicar la creación de condiciones internas para el mejoramiento de las condiciones de vida de la población, como se indica en la literatura.

La hipótesis que sustenta la propuesta de metodología aquí presentada es la capacidad de las estadísticas de ciencia y tecnología de representar de forma sintética la posición relativa de los países en el contexto mundial. Las estadísticas de ciencia (por medio de artículos científicos) y tecnología (mediante las patentes) serían la “punta del iceberg” de las capacidades científicas y tecnológicas de los países.

La capacidad científica de un país está ligada a la existencia de instituciones científicas, universidades y apoyo financiero para esas actividades, que reflejan la presencia de importantes elementos no mercantiles. A su vez, las instituciones científicas dependen de la presencia de un sistema educativo que, desde los niveles más básicos, promueva la formación de estudiantes calificados para las universidades. Un sistema educativo de buena calidad presupone, a su vez, condiciones esenciales de alimentación y de ingresos que permitan a las familias enviar a sus hijos a la escuela en condiciones de aprender y desarrollar la creatividad, elementos que se articulan con la condición más general de los sistemas de bienestar social.

La producción tecnológica de un país está ligada a la existencia de empresas con estabilidad, capacidad de acumulación de conocimientos, recursos para invertir en investigación y desarrollo, la posibilidad de reclutar profesionales calificados provenientes del sistema educativo y recursos financieros para realizar inversiones innovadoras. Estos elementos se articulan tanto con la dimensión educativa y científica como con la financiera y macroeconómica y se relacionan con el contexto histórico en el que se desarrollaron las empresas (y otras instituciones).

Así, el enfoque estadístico adoptado en este artículo presupone esta visión de la dinámica científica y tecnológica implícita en la elaboración de los sistemas de innovación (Freeman, 1995), que sin duda dialoga con la elaboración de las capacidades sociales realizado por Abramovitz (1986).

Con esta interpretación del significado de los datos (la “punta del iceberg” de las capacidades científicas y tecnológicas), en este artículo se busca evaluar la contribución específica que estos pueden realizar, como síntesis de la información, a los estudios sobre los cambios en la división centro-periferia a más largo plazo.

Una lectura de Patel y Pavitt (1994), Freeman (1995) y Nelson (1993) centrada en la interpretación de los datos presentados en esos trabajos sugiere la existencia de una correlación entre las medidas de riqueza de las naciones (PIB per cápita) y los indicadores de producción científica y tecnológica.

En esos estudios se describe la consolidación de las infraestructuras científica y tecnológica, el funcionamiento de los mecanismos de retroalimentación entre ambas dimensiones y la existencia de interacciones entre ciencia y tecnología y la esfera económica en los países desarrollados (Estados Unidos, Japón, Alemania). En el caso de los países en desarrollo, como el Brasil, si bien hay evidencia de actividades sistemáticas en materia de ciencia y tecnología, y de la publicación de

artículos y el registro de patentes que estas conllevan, también hay evidencia de que las interacciones entre ciencia y tecnología todavía no están plenamente consolidadas. En los países aún menos desarrollados, como los países más pobres de África y América Latina, la observación de estos datos indica la inexistencia de actividades sistemáticas en materia de ciencia y tecnología, de manera que la publicación de artículos y el registro de patentes son esporádicos. Como resultado, otra indicación para esos países sería la falta de articulación entre las esferas científica y tecnológica.

La reflexión sobre esta información estadística básica plantea dudas en cuanto a la existencia de divisiones entre esos conjuntos de países y preguntas sobre la forma en que la división centro-periferia tratada por la literatura estructuralista (Furtado, 2002) podría determinarse por medio de estas estadísticas.

La literatura sobre los sistemas de innovación inspira, por lo tanto, la búsqueda de estadísticas para medir los sistemas de innovación y una metodología para analizarlas.

1. Base de datos: producción científica, tecnológica y desarrollo económico

La base de datos preparada para este análisis incluye estadísticas de artículos científicos (como variable sustitutiva de la producción científica), patentes (como variable sustitutiva de la producción tecnológica) y PIB per cápita (como variable sustitutiva del desarrollo económico). La información seleccionada se refiere a 1974, 1982, 1990, 1998, 2006, 2012 y 2014. El objetivo es recopilar datos para todos los países del mundo. Para crear la base de datos sobre producción científica y tecnológica y desarrollo económico fue necesario abordar los cambios geopolíticos que tuvieron lugar desde 1974. Así, se realizaron algunos ajustes para compatibilizar las series a lo largo del tiempo².

a) Producción científica

Los datos sobre los artículos científicos se obtuvieron a partir de la base de datos del Instituto para la Información Científica (ISI). Estos se utilizan como variables sustitutivas de la producción científica y están disponibles en línea: www.webofknowledge.com.

Para analizar la infraestructura científica por país, se utilizarán artículos de todas las disciplinas de la ciencia y la ingeniería que tienen una relación directa con el proceso de desarrollo económico y se encuentran en el Science Citation Index Expanded (índice de citas científicas ampliado) preparado por el ISI.

El uso de los artículos como indicadores de la infraestructura científica presenta ventajas y desventajas. A continuación se resume la discusión sobre el significado de las estadísticas publicadas por el ISI.

En primer lugar, no toda la producción científica está indexada por el ISI. El nivel de exigencia para que una revista sea indexada es muy alto. En el campo de la economía, por ejemplo, es mucho más fácil que una revista académica sea incluida en la prestigiosa base de datos EconLit que en el Science Citation Index Expanded.

² Teniendo en cuenta que la reunificación de Alemania tuvo lugar en 1990, se optó por agregar los datos de publicaciones y patentes de la República Federal de Alemania y la República Democrática Alemana a partir de esa fecha. En 1993, Checoslovaquia se dividió y se crearon Chequia y Eslovaquia. Por lo tanto, los países resultantes de esta división se insertaron en 1998, 2006, 2012 y 2014. La antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas fue incluida en 1974, 1982 y 1990. Armenia, Azerbaiyán, Bielorrusia, Estonia, Federación de Rusia, Kazajistán, Kirguistán, Letonia, Lituania, Ucrania y Uzbekistán fueron incluidos en 1998, 2006, 2012 y 2014. Yugoslavia también se dividió, pero los datos de artículos y patentes se contabilizaron para 1974, 1982, 1990 y 1998. En 1998, 2006, 2012 y 2014 se agregaron Bosnia y Herzegovina, Croacia, Eslovenia y ex República Yugoslava de Macedonia.

En segundo lugar, el mero conteo de los artículos ciertamente no capta las diferentes contribuciones científicas que estos representan. Por lo tanto, un artículo que representa una importante ruptura científica cuenta tanto como un artículo que solo presenta una contribución incremental. Para superar este sesgo, es común utilizar estadísticas de citas de artículos. Sin embargo, estas últimas también plantean problemas, en especial al disminuir razonablemente la participación de los países menos desarrollados en el contexto mundial. Por ese motivo, en este artículo se utiliza el conteo de artículos como base de las estadísticas.

En tercer lugar, el marcado sesgo lingüístico de las estadísticas del ISI favorece la producción científica de los países de lengua inglesa en detrimento de los demás (Sandelin y Sarafoglou, 2004).

En cuarto lugar, la producción científica no se expresa solo mediante la producción de artículos. Los eventos como conferencias, congresos, debates y otros también son importantes y, en la interacción con el sector productivo, se destacan las fuentes de información sobre flujos tecnológicos (Cohen, Nelson y Walsh, 2002).

No obstante, la base de datos del ISI ofrece una valiosa contribución, en virtud de las largas series estadísticas, la comparabilidad internacional, la desagregación por disciplinas, la identificación de los autores y sus instituciones (que permite la localización geográfica de la actividad) y el fácil acceso.

b) Producción tecnológica

Una patente es un documento registrado por una agencia gubernamental autorizada, que garantiza el derecho de excluir a terceros de la producción o el uso de una nueva invención específica por un determinado número de años. La garantía se da al creador de la invención o proceso después de un examen, que se centra tanto en la novedad del ítem como en su potencial utilidad. El derecho de la patente puede ser firmado por el inventor o por otra persona, generalmente el empleador (que puede ser una empresa), o vendido o concedido mediante licencia para uso de terceros (Griliches, 1990).

El documento de patentes (solicitadas y concedidas) que se encuentra en el sitio web de la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos (USPTO) contiene la información utilizada para elaborar las bases de datos. La investigación que dio origen al presente artículo se centró en patentes concedidas y por país del inventor. Los datos están disponibles en línea: www.uspto.gov.

En resumen, con respecto a los indicadores de ciencia y tecnología, el uso de artículos publicados y patentes en este trabajo (en lugar de indicadores derivados de artículos y patentes) se justifica porque la observación simultánea de estas variables es importante para analizar las relaciones entre ciencia y tecnología y formular modelos sobre procesos innovadores (Schmoch, 1997).

c) PIB per cápita y desarrollo económico

En este artículo se asume que el ingreso es una de las variables que determinan la producción científica y tecnológica, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. El indicador que se utilizará para expresar la riqueza de las naciones es el PIB per cápita, medido por la paridad del poder adquisitivo en dólares constantes internacionales de 2011, cuya fuente son los indicadores del desarrollo mundial, disponibles en línea: <http://data.worldbank.org/>. Este indicador del nivel de ingreso en particular se emplea porque el análisis incluye varios países en diferentes etapas de desarrollo³.

³ El concepto de paridad del poder adquisitivo (PPA) se relaciona con la ley del precio único, según la cual los bienes o las canastas de bienes tienen un precio único en los mercados integrados, expresado en una moneda común (Dornbusch, 1987). En términos algebraicos:

$$e = P/P^*$$

donde: e = tipo de cambio; P = precio nacional; P^* = precio internacional. Sin embargo, las hipótesis subyacentes a la PPA son muy fuertes.

2. Metodología: datos de grupo superparamagnético

A partir de las estadísticas de ciencia y tecnología relativas a los datos sobre artículos científicos y patentes, se necesita una metodología para agrupar los sistemas de innovación. Ribeiro y otros (2006) presentan las referencias más relevantes para el desarrollo de esta metodología, a partir de herramientas utilizadas en el campo de la física y en las elaboraciones teóricas de la economía de la tecnología.

En este artículo se aplica una metodología basada en una serie de generalizaciones del modelo de Domany (Blatt, Wiseman y Domany, 1996, 1997 y 1998), que se utilizó originalmente para simular sistemas magnéticos en el área de la física. El modelo de Domany (Blatt, Wiseman y Domany, 1996, 1997 y 1998) consiste en N sitios dispuestos en una red. Cada sitio se caracteriza por su estado, que puede ser uno de los siguientes valores: $+1$ o -1 . Los sitios interactúan con sus primeros vecinos (los cuatro sitios más cercanos a ellos, en el caso de una red cuadrada) de manera que, si dos vecinos están en el mismo estado, se resta una cierta cantidad de energía al sistema, mientras si dos vecinos están en estados diferentes se suma la misma cantidad a la energía. Así, para minimizar la energía del sistema, los sitios vecinos tienden a permanecer en el mismo estado.

Una de las generalizaciones realizadas consiste en permitir que los sitios se distribuyan continuamente en el espacio, en lugar de fijarlos en una red regular. Con ello, se debe definir la manera de encontrar a los vecinos de cada sitio, una operación sencilla en una red regular. El concepto aquí utilizado es el de vecindad mutua. El sitio i es vecino de j si j está entre los K sitios más cercanos a i e i está entre los K sitios más cercanos a j . Así, el número máximo de vecinos de un sitio es K .

Una segunda generalización es que la interacción J entre los sitios vecinos ya no es una constante sino una función de la distancia entre los sitios. El comportamiento requerido para esta función es que, para distancias inferiores a la distancia media a entre todos los sitios, haya una fuerte interacción y, para distancias superiores a esta, la interacción sea débil. Esto define una escala local de interacción: los sitios cercanos (con distancia menor que a) interactúan de manera fuerte y los sitios lejanos (con distancia mayor que a) de manera débil.

En una distribución no homogénea, en que hay regiones de alta densidad y regiones de baja densidad de puntos, esto determina una fuerte interacción dentro de las regiones de alta densidad y una interacción débil dentro de las de baja densidad. Dada una distribución de sitios, es posible estudiar este modelo utilizando las mismas técnicas descritas para el modelo de Domany (Blatt, Wiseman y Domany, 1996, 1997 y 1998). En el caso de temperaturas bajas, el sistema presenta una magnetización unitaria, pues todos los sitios se encuentran en el mismo estado. En el caso de temperaturas altas, la magnetización es nula y los estados se distribuyen equitativamente entre los sitios. Sin embargo, surge una nueva fase entre estas dos, llamada superparamagnética, en que los espines de los sitios pertenecientes a un mismo aglomerado están fuertemente correlacionados, al contrario de lo que ocurre con los espines de los sitios de aglomerados diferentes, que presentan una correlación débil. Esto determina un nivel en el gráfico de susceptibilidad debido a las fluctuaciones causadas por el cambio de estado de los aglomerados.

En este análisis, esos aglomerados se traducen como un conjunto de países con características cuantitativas similares en cuanto a sus sistemas de innovación, medidos por las estadísticas de patentes y artículos científicos. Las diferencias entre los grupos de sistemas de innovación pueden sugerir una cuantificación de la división centro-periferia.

IV. Análisis de los resultados

Una vez construida la base de datos y presentada la metodología de agrupación, se analizan las estadísticas de ciencia y tecnología para comprender la manera en que pueden contribuir a mejorar la diferenciación entre sistemas de innovación en diversas etapas de desarrollo.

Para ello, esta sección se organiza de manera de investigar la existencia de correlaciones entre la ciencia, la tecnología y la riqueza de las naciones, probar la agrupación de países en diferentes niveles cuantitativos y cualitativos de interacción entre ciencia y tecnología y evaluar el modo en que ese análisis y esa metodología pueden utilizarse para sistematizar los elementos dinámicos de la división centro-periferia.

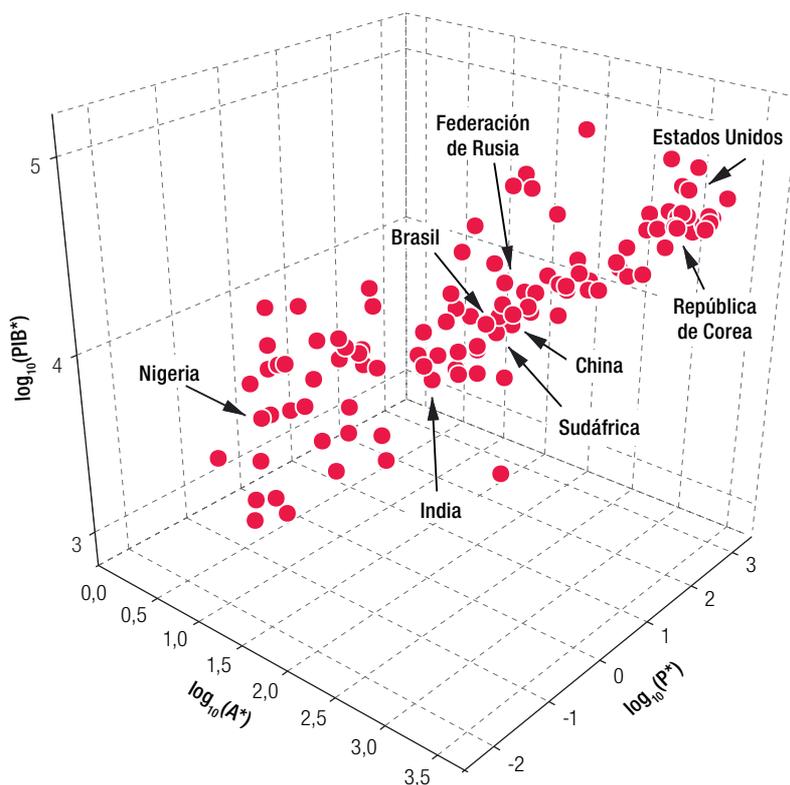
1. Correlación entre ciencia, tecnología y riqueza de las naciones

En el gráfico 1 se muestran, de manera tridimensional, los datos de artículos, patentes y PIB (medido por el PPA) en escala logarítmica, por millón de habitantes, para 111 países en 2014. Se trata de todos los países del mundo que tienen por lo menos una patente concedida por la USPTO y un artículo científico publicado en el Science Citation Index Expanded organizado por el ISI.

Gráfico 1

Artículos, patentes y PIB per cápita en 111 países y áreas, 2014

(Por millón de habitantes y en dólares constantes internacionales de 2011 de paridad de poder adquisitivo)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de Banco Mundial, Instituto para la Información Científica (ISI) y Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos (USPTO).

Nota: Países analizados: Albania, Alemania, Arabia Saudita, Argelia, Argentina, Armenia, Australia, Austria, Azerbaiyán, Bahrein, Bangladesh, Barbados, Bélgica, Bermudas, Bolivia (Estado Plurinacional de), Brasil, Brunei Darussalam, Bulgaria, Camboya, Camerún, Canadá, Chad, Chequia, Chile, China, Chipre, Colombia, Costa Rica, Croacia, Dinamarca, Ecuador, Egipto, El Salvador, Emiratos Árabes Unidos, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estados Unidos, Estonia, Eswatini, Federación de Rusia, Filipinas, Finlandia, Francia, Georgia, Ghana, Grecia, Guatemala, Hungría, India, Indonesia, Irán, Iraq, Irlanda, Islandia, Israel, Italia, Jamaica, Japón, Jordania, Kazajstán, Kenya, Kuwait, Letonia, Líbano, Liberia, Lituania, Luxemburgo, Macedonia del Norte, Madagascar, Malasia, Malta, México, Mónaco, Namibia, Nepal, Nicaragua, Nigeria, Noruega, Nueva Zelanda, Omán, Países Bajos, Pakistán, Panamá, Paraguay, Perú, Polonia, Portugal, Qatar, Reino Unido, República de Corea, República de Moldova, República Dominicana, Rumania, Seychelles, Singapur, Sri Lanka, Sudáfrica, Suecia, Suiza, Taiwán, Tailandia, Tanzania, Túnez, Turquía, Turkmenistán, Ucrania, Uruguay, Uzbekistán, Venezuela (República Bolivariana de) y Viet Nam, además de Cisjordania y la Franja de Gaza.

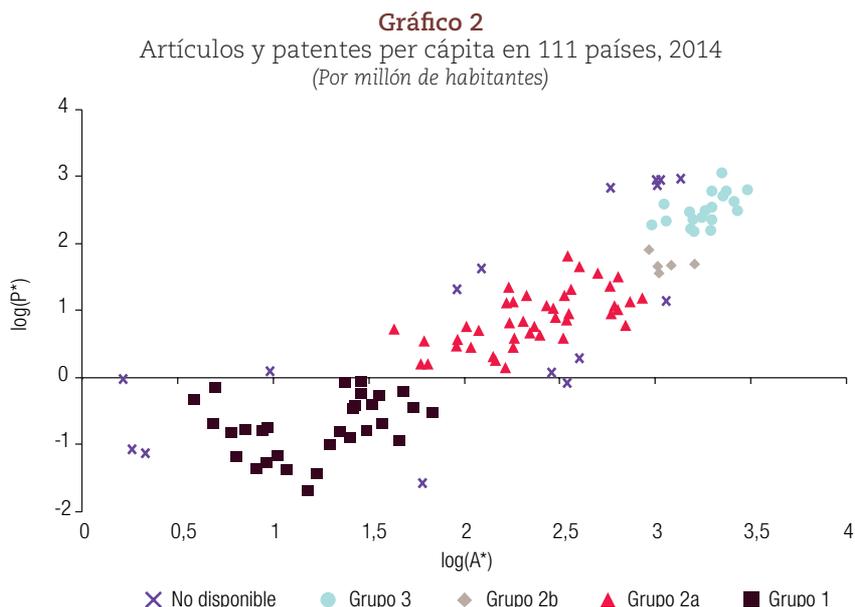
Se observa que, cuanto más desarrollado es un país, más artículos y patentes logra publicar y viceversa, lo que indica una correlación positiva entre estas tres variables.

En general, los países que tienen mayores capacidades tecnológicas y endogeneizaron sus dinámicas tecnológicas generaron más riqueza y son los más ricos del mundo. Ciertamente, hay excepciones con respecto a la correlación entre riqueza y desarrollo científico y tecnológico. Si bien algunos países con grandes reservas de petróleo tienen un elevado PIB per cápita, su capacidad de generar ciencia y tecnología está muy por debajo de la riqueza proporcionada por la explotación y comercialización de esa materia prima.

De acuerdo con el gráfico 1, los Estados Unidos y la recién llegada República de Corea se pueden citar como ejemplos de países localizados en el centro del sistema capitalista. La periferia puede dividirse en al menos dos grupos: el de países como Nigeria, que se encuentran en una posición más atrasada, y el de países como el Brasil, la India, China, Sudáfrica y la Federación de Rusia, que están en las posiciones más avanzadas y presentan un nivel intermedio de desarrollo económico, científico y tecnológico.

2. Técnica de agrupación y tres regímenes de interacción en 2014

Los datos presentados en la dimensión *xy* del gráfico 1 (eje *x*, producción científica; eje *y*, producción tecnológica) constituyen el insumo para la aplicación de la metodología de definición de grupos presentada en la sección III.2. El resultado se muestra en el gráfico 2.



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de Instituto para la Información Científica (ISI) y Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos (USPTO).

Nota: Países analizados: Albania, Alemania, Arabia Saudita, Argelia, Argentina, Armenia, Australia, Austria, Azerbaiyán, Bahrein, Bangladesh, Barbados, Bélgica, Bermudas, Bolivia (Estado Plurinacional de), Brasil, Brunei Darussalam, Bulgaria, Camboya, Camerún, Canadá, Chad, Chequia, Chile, China, Chipre, Colombia, Costa Rica, Croacia, Dinamarca, Ecuador, Egipto, El Salvador, Emiratos Árabes Unidos, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estados Unidos, Estonia, Eswatini, Federación de Rusia, Filipinas, Finlandia, Francia, Georgia, Ghana, Grecia, Guatemala, Hungría, India, Indonesia, Irán, Iraq, Irlanda, Islandia, Israel, Italia, Jamaica, Japón, Jordania, Kazajistán, Kenya, Kuwait, Letonia, Líbano, Liberia, Lituania, Luxemburgo, Macedonia del Norte, Madagascar, Malasia, Malta, México, Mónaco, Namibia, Nepal, Nicaragua, Nigeria, Noruega, Nueva Zelanda, Omán, Países Bajos, Pakistán, Panamá, Paraguay, Perú, Polonia, Portugal, Qatar, Reino Unido, República de Corea, República de Moldova, República Dominicana, Rumania, Seychelles, Singapur, Sri Lanka, Sudáfrica, Suecia, Suiza, Taiwán, Tailandia, Tanzania, Túnez, Turquía, Turkmenistán, Ucrania, Uruguay, Uzbekistán, Venezuela (República Bolivariana de) y Viet Nam, además de Cisjordania y la Franja de Gaza.

Mediante la técnica de agrupación utilizada se dividió el conjunto de países con producción científica y tecnológica registrada en forma de artículos y patentes en tres grandes grupos. El análisis sugiere que cada uno de esos grupos puede considerarse representativo de un “régimen de interacción” diferente. La lógica subyacente tras esta sugerencia supone que, en línea con la literatura, los países avanzados no solo tendrían una diferencia cuantitativa con respecto a los más rezagados —una mayor producción científica y tecnológica— sino también una importante diferencia cualitativa: la interacción entre esas dos dimensiones estaría más consolidada y permitiría una retroalimentación positiva entre ellas. Este grupo constituiría el “régimen 3” en el gráfico 2. Los países en una posición intermedia representarían el “régimen 2”, que se caracterizaría por una producción cuantitativamente inferior y cualitativamente menos sofisticada. La retroalimentación entre las dos dimensiones existe pero es más débil. Por último, a los países más pobres y menos avanzados científica y tecnológicamente correspondería el “régimen 1”.

El régimen 3 está compuesto por 19 países que se encuentran entre los más avanzados del mundo, es decir, los más ricos en términos económicos, científicos y tecnológicos: Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Finlandia, Francia, Irlanda, Islandia, Luxemburgo, Mónaco, Noruega, Nueva Zelanda, Países Bajos, Reino Unido, Singapur, Suecia y Suiza. Es importante contrastar esta situación con el caso de los cinco países que están cerca del régimen 3 pero se consideran valores atípicos del modelo, a saber: Estados Unidos, Israel, Japón, República de Corea y la provincia china de Taiwán. Estos mostrarían una diferenciación entre los países más avanzados, que indica un subconjunto de países que logran transformar su producción científica en producción tecnológica con mayor eficiencia⁴.

El régimen 2 está compuesto por 50 países, entre ellos el Brasil. En el procesamiento de la técnica presentada en la sección III.2, se observó el despegue relativo de un subgrupo, que no llegó a caracterizarse como un nuevo grupo independiente. En consecuencia, se evalúa que en 2014 el régimen 2 presenta una característica especial, pues se dividió en dos subgrupos.

El primer subgrupo (denominado “régimen 2B” en el gráfico 2) está integrado por cinco países que pertenecían al régimen 1 en 2012 y perdieron su posición en 2014, alejándose de sus pares. Estos son: Chequia, Eslovenia, España, Estonia e Italia. El segundo subgrupo (“régimen 2A”) está integrado por 45 países (seis valores atípicos se encuentran cerca de este régimen) que permanecen en una etapa de desarrollo intermedio, a saber: Arabia Saudita, Argentina, Armenia, Bahrein, Barbados, Bermudas, Brasil, Brunei Darussalam, Bulgaria, Chile, China, Chipre, Colombia, Costa Rica, Croacia, Egipto, Emiratos Árabes Unidos, Eslovaquia, ex República Yugoslava de Macedonia, Federación de Rusia, Georgia, Grecia, Hungría, India, Jamaica, Jordania, Kuwait, Letonia, Líbano, Lituania, Malasia, Malta, México, Namibia, Omán, Panamá, Polonia, Qatar, Rumania, Seychelles, Sudáfrica, Tailandia, Turquía, Ucrania y Uruguay.

Por último, los países del “régimen 1” son los menos desarrollados, tienen un bajo PIB per cápita, pocas patentes concedidas y pocos artículos científicos publicados, conforme el gráfico 1. Los 30 países que componen este régimen son: Albania, Azerbaiyán, Bangladesh, Bolivia (Estado Plurinacional de), Camerún, Ecuador, El Salvador, Eswatini, Ghana, Guatemala, Indonesia, Iraq, Kazajstán, Kenya, la República de Moldova, Liberia, Madagascar, Nepal, Nicaragua, Nigeria, Pakistán, Paraguay, Perú, República Dominicana, República Unida de Tanzania, Sri Lanka, Turkmenistán, Uzbekistán, Venezuela (República Bolivariana de) y Viet Nam. Existen siete países, considerados valores atípicos, que se encuentran próximos a este régimen.

El gráfico 2 evidencia una gran dispersión y heterogeneidad entre los países de la periferia, que abarca los regímenes 1 y 2 (2a y 2b). Esta creciente dispersión y heterogeneidad de la periferia es uno

⁴ La posición de los países europeos, frente a los Estados Unidos en particular, ilustra la llamada paradoja europea (Dosi, 2006). A efectos de este artículo, la discusión presentada por Dosi (2006) formaría parte de una iniciativa para subdividir el conjunto de países ya desarrollados.

de los resultados de la dinámica de las metamorfosis del capitalismo generadas por la sucesión de revoluciones tecnológicas que se propagan de forma diferenciada en todo el sistema.

La caracterización de estos tres regímenes de interacción puede evaluarse mediante el análisis de la correlación entre la producción científica y tecnológica dentro de cada régimen. Existen importantes diferencias en esta correlación entre los grupos de países, según el régimen de interacción al que pertenezcan. Al analizar la dinámica entre la producción científica y tecnológica en el período 1999-2003 para un grupo de 116 países, Ribeiro y otros (2006) encontraron un resultado interesante: cuanto mayor es la riqueza de las naciones, mayor es la correlación entre los artículos y las patentes. El coeficiente de correlación en los países del régimen 1 fue de 0,74 y en los del régimen 2 este valor fue de 0,52. Sin embargo, los países pertenecientes al régimen 3 presentaron una correlación relativamente baja, de 0,24. Este resultado puede ser un indicador de la eficiencia de los países desarrollados para transformar su producción científica en producción tecnológica.

A su vez, este resultado puede expresar un acuerdo entre las elaboraciones estructuralistas y neoschumpeterianas.

3. Trayectorias intertemporales de los umbrales y los países

A partir de los datos recopilados para 1974, 1982, 1990, 1998, 2006, 2012 y 2014 y la aplicación de la técnica de agrupación a esos conjuntos de datos, se pueden plantear dos preguntas interrelacionadas: ¿es posible delimitar los regímenes de interacción con umbrales que los caracterizarían?, ¿son esos umbrales estáticos?

La definición de umbrales es posible. En primer lugar, se hace una regresión lineal considerando todos los puntos (países) del gráfico 2. Para establecer el umbral entre los regímenes 1 y 2 se localiza el punto más a la derecha del régimen 1 y se calcula la recta que pasa por él y es perpendicular a la recta de la regresión lineal de todos los puntos. La definición es análoga para el umbral entre el régimen 2 y el régimen 3, pero en este caso se considera el punto más a la izquierda del régimen 3.

La definición del umbral entre el régimen 3 y el régimen 2 podría traducirse como la definición cuantitativa de la división centro-periferia a partir de los datos de ciencia y tecnología.

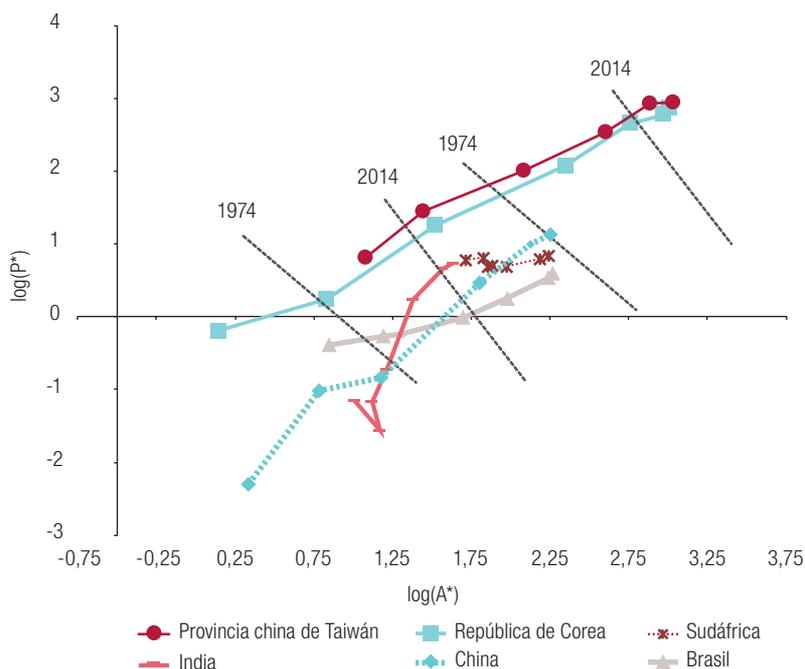
La comparación de la posición de los umbrales en 1974 y 2014 sugiere que los umbrales no son estáticos, un resultado coherente con la visión neoschumpeteriana de un sistema económico permanentemente transformado por sucesivas revoluciones tecnológicas. El movimiento de los umbrales a lo largo del tiempo se muestra en el gráfico 3.

La recta 2014 en la parte superior derecha del gráfico 3 representa el umbral entre los regímenes 3 y 2 en 2014, mientras la recta 1974 inmediatamente a la izquierda representa la posición de ese mismo umbral en 1974. La recta 1974 en la parte inferior izquierda del gráfico 3 representa el umbral entre los regímenes 1 y 2 en 1974, mientras la recta 2014 inmediatamente a su derecha representa ese mismo umbral en 2014.

El movimiento de los umbrales tiene importantes repercusiones. En particular, el movimiento del umbral entre los regímenes 3 y 2 demuestra que la división centro-periferia no es estática. La división centro-periferia existe, se transforma y se mueve. En otras palabras, el desafío de realizar un proceso de convergencia se vuelve más complejo con la sucesión de revoluciones tecnológicas en el centro.

En el gráfico 3 también se presenta la posición de países y territorios seleccionados para todos los años entre 1974 y 2014. Esta presentación permite indicar las trayectorias recorridas por esos países y evaluar el comportamiento dinámico del movimiento de los países y de los umbrales.

Gráfico 3
Trayectorias intertemporales de los umbrales de producción científica y tecnológica
(Por millón de habitantes)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de Instituto para la Información Científica (ISI) y Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos (USPTO).

La trayectoria del Brasil, por ejemplo, muestra su pasaje del régimen 1 al régimen 2 entre 1974 y 1982. Sin embargo, el país permaneció en el régimen 2 a lo largo de 1990, 1998, 2006, 2012 y 2014. En 2014, se acercó al umbral de 1974 para el pasaje del régimen 2 al régimen 3. No obstante, las condiciones para formar parte del régimen 3 se cumplieron con un rezago temporal de 40 años. Los requisitos científicos y tecnológicos para entrar en el régimen 3 en 2014 son mucho mayores que en 1974. Este resultado no solo se aplica al Brasil, sino también a la India y a Sudáfrica (el llamado “efecto de la Reina Roja”): estos países aumentan su producción científica y tecnológica, pero no lo suficientemente rápido para lograr salir del régimen 2 y pasar al régimen 3 (Ribeiro y otros, 2006).

En un ejercicio de prospección, con todas las precauciones derivadas del peso de la incertidumbre en la dinámica de los cambios científicos y tecnológicos, es posible calcular la velocidad de movimiento de los umbrales. Entre 1974 y 2014 el umbral de transición del régimen 2 al régimen 3 creció exponencialmente a una tasa del 6,6% anual (en términos de producción científica), mientras el umbral entre el régimen 1 y el régimen 2 creció a una tasa media del 4,2% anual.

Esta metodología permite determinar los procesos de convergencia, que se traducen aquí como la capacidad de superar el umbral entre los regímenes 2 y 3. Tanto la República de Corea como la provincia china de Taiwán lograron realizar ese pasaje y mantenerse en el régimen 3 desde 1998. Es importante señalar que, tal vez debido a la preservación de la elevada capacidad de absorción de tecnología durante el proceso de convergencia, estos países aparecen como valores atípicos del modelo en el gráfico 2, situándose cerca de los Estados Unidos y el Japón.

Suponiendo la preservación de la velocidad de expansión de la producción científica y tecnológica de los países entre 1974 y 2014 y la velocidad de movimiento de los umbrales (ambos supuestos son extremadamente restrictivos), el Brasil estaría en condiciones de entrar al régimen 3 en 2144, si

se mantiene su tasa de crecimiento media del 8,6% anual (de 1974 a 2014). Sudáfrica, cuya tasa de crecimiento es del 2,8% anual, podría retroceder al régimen 1 en 2044. La India, con una tasa de crecimiento del 3,4% anual, tendería a permanecer en el régimen 2. En el gráfico 3, China inicia su trayectoria en 1982 en el régimen 1, pasa al régimen 2 en 2006 y pasaría a integrar el grupo de países pertenecientes al régimen 3 en 2050, pues su tasa de crecimiento es del 15% anual. Si bien se trata de ejercicios puramente especulativos, sirven al menos para expresar preocupación sobre el mantenimiento de políticas incapaces de implementar procesos de convergencia.

V. Nota sobre la intensidad tecnológica y el efecto de la Reina Roja: el caso del Brasil

En esta sección, que se centra en el caso brasileño, se busca articular los datos sobre la posición del país en el contexto internacional (véase el gráfico 3) con estadísticas más desagregadas sobre la posición de la industria del país.

Este cotejo de datos se basa en la hipótesis de que el estancamiento relativo del Brasil observado en el gráfico 3 debe estar relacionado con la ausencia de cambios estructurales en la industria nacional. Esta hipótesis se funda en estudios de procesos de convergencia exitosos, en particular en la República de Corea. Una de las lecciones del caso coreano sugiere que, para que los procesos de convergencia tengan éxito, un sistema de innovación debe impulsar la estructura industrial del país hacia sectores económicos más cercanos a los nuevos sectores generados por las revoluciones tecnológicas más recientes, es decir, los sectores de alta tecnología (Lee, 2013).

Este aspecto sería fundamental para entender la permanencia de la economía brasileña en el régimen 2 durante la mayor parte del período evaluado en el gráfico 3, que puede estar asociada con la “trampa del ingreso medio”. Esta se refiere a la situación en que los esfuerzos realizados por los países de ingresos medios para mantener las ventajas comerciales relacionadas con la producción en masa y los bajos costos de producción dificultan su posible transición al grupo de países de altos ingresos (Paus, 2014). Por otra parte, los países que lograron realizar esa transición, como la República de Corea y la provincia china de Taiwán, se caracterizarían por iniciativas relacionadas con un cambio en el perfil tecnológico de la industria local. En esos países, tras una primera fase de industrialización, la reorientación de la política industrial para privilegiar a los sectores basados en nuevas tecnologías y con ciclos de vida cortos y el incentivo a la investigación y el desarrollo serían los elementos clave para superar la trampa del ingreso medio (Lee, 2013). Según esta perspectiva, la especialización en dichos sectores abriría mayores oportunidades para la innovación, dada la mayor velocidad del cambio técnico, que culminó en largos períodos de crecimiento acelerado del ingreso. De esta forma, es posible formular una hipótesis sobre la articulación de la velocidad del movimiento observado en el gráfico 3 con la especialización productiva en los sectores de alta tecnología.

Por ello, en esta sección se coteja la trayectoria del Brasil (establecida en el gráfico 3) con datos más desagregados de la estructura industrial del país, proporcionados por la *Relação Anual de Informações Sociais (RAIS)*, que permiten determinar la distribución de las actividades industriales de acuerdo con su intensidad tecnológica.

Para este análisis, se utilizan datos de la RAIS relativos a los empleos formales en los segmentos que componen la industria de la transformación, entre 1995 y 2014. Esa información permite construir una visión general de la estructura industrial en el país y, en particular, evaluar la evolución de los sectores considerados de alta tecnología con respecto a los demás. Para el análisis, los sectores evaluados se agruparon según su nivel de intensidad tecnológica, a partir

de la clasificación propuesta por Cavalcante (2014), que asocia las divisiones de la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE) con la clasificación tecnológica propuesta por la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE)⁵. De esta forma, los sectores de la industria de la transformación, clasificados entre las divisiones 15 a 36 de la CNAE 1.0, se agruparon en cuatro categorías relacionadas con su grado de intensidad tecnológica⁶. Estas son: baja, media-baja, media-alta y alta intensidad tecnológica.

Con esos datos se procura determinar la evolución del empleo en la industria brasileña en esos cuatro niveles de intensidad tecnológica, en el período de 1995 a 2014. A partir de ese análisis, y asumiendo el concepto de trampa del ingreso medio (Lee, 2013), será posible observar si a lo largo de ese período hubo algún cambio en la estructura industrial del país que pueda indicar el avance de la economía brasileña hacia el régimen más dinámico de los presentados anteriormente.

En el cuadro 1 se presentan los datos relativos a la evolución del empleo total y de la industria y a la participación del sector en el total de empleos formales generados en el país en los años seleccionados. Se observa que el número absoluto de empleos generados en el país se duplicó con creces a lo largo del período examinado, mientras el empleo industrial creció a un ritmo menor (del 67% entre 1995 y 2014). Debido al menor crecimiento de la capacidad de absorción de trabajadores de la industria de la transformación, su participación en el total de puestos de trabajo vigentes en el país se redujo. La participación del sector en el empleo formal disminuyó del 20,4% en 1995 al 15,87% en 2014. También se redujo la participación del sector industrial en el total de establecimientos formales que operan en la economía brasileña, del 11,5% al 9% del total a lo largo del período de referencia⁷.

A partir del gráfico 4 se analizan los datos de empleo en la industria de la transformación según los niveles de intensidad tecnológica de los sectores que la componen.

Cuadro 1
Brasil: evolución del empleo formal total e industrial, 1995-2014

Año	Industria (en número de personas)	Total (en número de personas)	Participación de la industria (en porcentajes)
1995	4 853 311	23 755 736	20,43
1998	4 530 693	24 491 635	18,07
2002	5 241 560	28 683 913	17,85
2006	6 602 248	35 155 249	18,26
2010	7 840 220	44 068 355	17,31
2014	8 124 011	49 571 510	15,87

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Ministerio de Economía, *Relação Anual de Informações Sociais (RAIS)*, Brasília, 2016 [en línea] <https://portalfat.mte.gov.br/relacao-anual-de-informacoes-sociais-rais-2016/>.

Se observa que el ritmo de crecimiento del empleo en las cuatro categorías de intensidad tecnológica generó pocos cambios en la distribución de los trabajadores entre ellas a lo largo del período 1995-2014. Como se puede verificar en el gráfico 4, el principal cambio se refiere al intercambio de posiciones entre los segmentos de intensidad tecnológica media-baja y media-alta a partir de 2010. Mientras la participación del primero en el empleo industrial del país se redujo del 22% al 21,7%, la participación del

⁵ El trabajo de Cavalcante (2014) constituye una Nota Técnica elaborada en el ámbito del Instituto de Investigación Económica Aplicada (IPEA), con miras a crear una clasificación de los segmentos industriales que pueda utilizarse para la formulación de políticas públicas en el Brasil.

⁶ Dado que la segmentación de los datos de la RAIS por la CNAE 2.0 solo está disponible para los años posteriores a 2002, se optó por utilizar la CNAE 1.0, que está disponible para todos los años considerados en este trabajo.

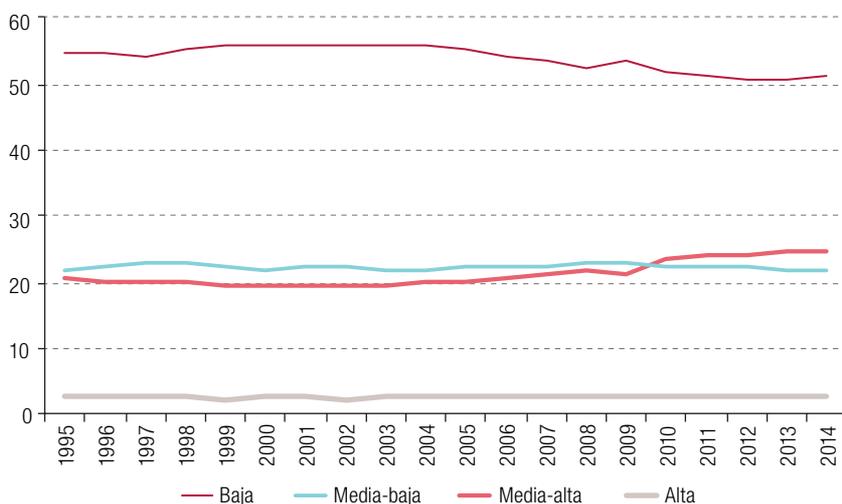
⁷ Información disponible en las bases de datos del Ministerio de Economía, *Relação Anual de Informações Sociais (RAIS)*, Brasília, 2016 [en línea] <https://portalfat.mte.gov.br/relacao-anual-de-informacoes-sociais-rais-2016/>.

segundo aumentó del 20,7% al 24,4% entre 1995 y 2014. La mejora en la participación de los sectores de intensidad tecnológica media-alta obedeció a un ritmo de crecimiento del empleo más acelerado con respecto los otros sectores. En el período examinado, el número de puestos de trabajo creció un 91% en los sectores industriales de media-alta tecnología y un 52% en los sectores de tecnología media-baja.

Gráfico 4

Brasil: participación de los sectores en el empleo de la industria de la transformación según su nivel de intensidad tecnológica, 1995-2014

(En porcentajes)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Ministerio de Economía, Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), Brasília, 2016 [en línea] <https://portalfat.mte.gov.br/relacao-anual-de-informacoes-sociais-rais-2016/>.

La participación del grupo de alta intensidad tecnológica en el empleo industrial del país es estable, a pesar del incremento del número de puestos de trabajo en los sectores que lo componen. De este modo, los sectores con alta intensidad tecnológica mantuvieron una participación cercana al 3% del empleo formal en la industria de la transformación durante todo el período analizado. En este sentido, el crecimiento del 65% en el número de empleos formales para los segmentos de alta tecnología no modificó su representatividad con respecto al total de la industria nacional.

En general, los datos indican que los cambios observados en la estructura del empleo formal en la industria de la transformación brasileña entre los niveles de intensidad tecnológica fueron solo superficiales. El intercambio de posiciones entre los segmentos de intensidad tecnológica media-baja y media-alta no puede considerarse como una gran modificación de esta estructura, dado que la participación de ambos grupos en el empleo industrial del país siempre fue bastante similar. Además, la inercia en la participación de los sectores de alta intensidad tecnológica en el empleo industrial del país indica que el rezago en la estructura productiva en relación con las economías centrales se incrementó a lo largo de la serie considerada. Mientras la participación del empleo en los sectores de alta intensidad tecnológica con respecto al total de la industria en el Brasil se mantuvo alrededor del 3%, este aumentó del 45% a alrededor del 60% en la República de Corea, entre 1995 y 2013 (OCDE, 2015). Esta comparación con la República de Corea, que logró realizar el proceso de convergencia en el curso de ese período, ayuda a comprender las razones por las cuales la economía brasileña no pudo avanzar en la misma dirección. En este sentido, la ausencia de cambios en la estructura industrial que privilegiaran a los sectores con mayor intensidad tecnológica y mayor tendencia a la innovación explicaría la incapacidad del Brasil para reducir la distancia que lo separa de las economías más desarrolladas (Lee, 2013).

Las restricciones al proceso de convergencia del Brasil estarían potenciadas, además, por la gran representatividad de los sectores de baja intensidad tecnológica en la estructura industrial del país. En un contexto de mayor competencia internacional, basada sobre todo en las ventajas comparativas dinámicas, en detrimento de las ventajas comparativas estáticas, la fuerte dependencia de los sectores de baja intensidad tecnológica constituye un límite a la participación del país en los mercados externos. Esto se debe a que esos sectores, generalmente basados en tecnologías ya maduras, presentan poco margen para la introducción de innovaciones y un pequeño grado de diferenciación de productos. Una vez más, vale la pena realizar una comparación con la República de Corea, donde la representatividad de los sectores de alta intensidad tecnológica en la estructura de exportaciones llegó al 29% en 2010, mientras en el Brasil dichos sectores representaron el 7% de las exportaciones ese mismo año (Romero y otros, 2015).

Así, se observa que el período entre 1995 y 2014 no fue suficiente para que se produjeran cambios significativos en la estructura industrial del país. A lo largo de ese intervalo se mantuvo la gran representatividad de los segmentos de baja intensidad tecnológica en la absorción de trabajo, en contraposición a la pequeña participación de los sectores de alta intensidad tecnológica. Ante los cambios registrados en la economía mundial desde finales del siglo XX, esto indica la profundización del atraso estructural de la industria brasileña, rezagada tanto en términos de prácticas productivas como de internalización de sectores con mayor grado de dinamismo tecnológico.

El gráfico 4 evidencia así un crecimiento sin cambios estructurales. Por lo tanto, la persistencia de la posición relativa de la industria de alta tecnología supone una base para el limitado avance del país en relación con la ciencia y la tecnología, es decir, un movimiento en el gráfico 3 que no escapa al efecto de la Reina Roja. Esta condición es aún más evidente cuando se compara la trayectoria brasileña con la de la República de Corea a lo largo del período de referencia.

Esta nota sugiere que es posible conciliar las trayectorias de los sistemas nacionales de innovación —construidas a partir de estadísticas de ciencia y tecnología— con análisis más detallados de las estructuras industriales nacionales. Los dos enfoques son compatibles incluso en términos dinámicos.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que el análisis presentado anteriormente considera la vigencia de un paradigma técnico-económico específico, basado en la revolución tecnológica desencadenada por el auge de la microelectrónica. Por lo tanto, la definición de alta, media y baja tecnología está influenciada por el desdoblamiento de ese paradigma en los sectores económicos (Dosi, 2006). Las revoluciones tecnológicas se caracterizan por su capacidad de modificar los patrones productivos vigentes, difundiendo no solo nuevos productos sino también nuevos procesos (Pérez, 2010). En medio de este proceso, surgen nuevas industrias mientras aquellas hasta el momento consideradas de alta tecnología pueden quedar obsoletas o alcanzar la madurez. A su vez, otros segmentos pueden simplemente dejar de existir o sufrir profundas transformaciones (Freeman y Louçã, 2001). En consecuencia, las clasificaciones tecnológicas deben entenderse como dinámicas a lo largo del tiempo, pues pueden estar profundamente influenciadas por cambios en los paradigmas técnico-económicos. Así, si se confirma una nueva revolución tecnológica, sustentada en fenómenos recientes como el crecimiento de la llamada Industria 4.0 y la búsqueda de nuevas fuentes renovables de energía, la estructura industrial tal y como se conoce en la actualidad puede modificarse profundamente. Este tipo de modificación y las inestabilidades que de ella pueden derivar abren ventanas de oportunidad alineadas precisamente con el surgimiento de nuevas tecnologías. En ese contexto, el aprovechamiento de esas tecnologías ascendentes abre espacio para el cambio estructural en los sistemas económicos y, por ende, para la convergencia, como ocurrió en la República de Corea a partir de la década de 1970 (Kim, 1993). En este sentido, los cambios tecnológicos mencionados pueden ser el camino para el cambio en el marco estructural de la economía brasileña y viabilizar su proceso de convergencia.

VI. Conclusiones

Las estadísticas de ciencia y tecnología permiten el seguimiento de las trayectorias intertemporales de los sistemas nacionales de innovación, una herramienta importante para evaluar las etapas de desarrollo y los niveles de construcción de la capacidad tecnológica de los países.

La metodología de agrupación de países propuesta por Ribeiro y otros (2006) contribuyó a articular el análisis de las estadísticas de ciencia y tecnología con evaluaciones más estructurales de la dinámica capitalista mundial, de las metamorfosis del capitalismo, conforme la definición de Celso Furtado (2002). En particular, la definición de umbrales entre los tres “regímenes de interacción” a partir de la técnica de agrupación utilizada contribuye a la evaluación de una dimensión especial de esas metamorfosis del capitalismo: la persistencia y los cambios en la división centro-periferia.

Dado el papel de las revoluciones tecnológicas (Freeman y Louçã, 2001) en las metamorfosis del capitalismo (Furtado, 2002), el papel de la ciencia y de la tecnología en la sustentación de la riqueza de las naciones ha crecido a lo largo del tiempo. Estos cambios son captados por el movimiento de los umbrales en la frontera entre los países desarrollados y el resto del mundo (véase el gráfico 3). El movimiento de ese umbral puede traducirse como cambios en la división centro-periferia. Por otra parte, este cambio en la posición de la división centro-periferia señala el desafío cada vez mayor para las políticas de los países periféricos necesarias para la superación del subdesarrollo.

La metodología presentada en este texto también puede indicar la heterogeneidad de la periferia, diferenciada por la existencia de dos grupos bien delimitados y una incipiente subdivisión del grupo periférico más cercano al centro.

Por último, la metodología también permitió captar la posibilidad de superación del subdesarrollo: la condición periférica no es insuperable. Las trayectorias de la República de Corea y la provincia china de Taiwán son ejemplos de esa superación.

El conjunto de datos recopilados y analizados puede servir como introducción para una discusión del caso brasileño, a partir de un diagnóstico del estancamiento relativo del sistema de innovación nacional, un sistema que todavía se encuentra bajo la maldición del “efecto de la Reina Roja”. Este puede interpretarse como una constatación —en términos de las estadísticas de ciencia y tecnología— de la “trampa del ingreso medio”, que solo puede superarse mediante la efectiva construcción de un sistema de innovación.

Bibliografía

- Abramovitz, M. (1986), “Catching up, forging ahead, and falling behind”, *The Journal of Economic History*, vol. 46, N° 2, Cambridge, Cambridge University Press.
- Amsden, A. (2009), *A ascensão do resto: os desafios ao Ocidente de economias com industrialização tardia*, São Paulo, Universidad Estatal Paulista (UNESP).
- Blatt, M., S. Wiseman y E. Domany (1998), “Superparamagnetic clustering of data”, *Physical Review E*, vol. 57, N° 4, Maryland, American Physical Society.
- (1997), “Data clustering using a model granular magnet”, *Neural Computation*, vol. 9, N° 8, Cambridge, MIT Press.
- (1996), “Superparamagnetic clustering of data”, *Physical Review Letters*, vol. 76, N° 78, Maryland, American Physical Society.
- Cassiolo, J. E., H. M. M. Lastres y M. L. Maciel (eds.) (2003), *Systems of Innovation and Development: Evidence from Brazil*, Cheltenham, Edward Elgar.
- Cavalcante, L. R. (2014), “Classificações tecnológicas: uma sistematização”, *Nota Técnica*, N° 17, Brasília, Instituto de Investigación Económica Aplicada (IPEA).

- Coates, D. (2000), *Models of Capitalism: Growth and Stagnation in the Modern Era*, Cambridge, Polity Press.
- Cohen, W., R. Nelson y J. Walsh (2002), "Links and impacts: the influence of public R&D on industrial research", *Management Science*, vol. 48, N° 1, Catonsville, Institute for Operations Research and the Management Sciences.
- Coutinho, L. y W. Suzigan (1991), *Desenvolvimento tecnológico e a constituição de um sistema nacional de inovação no Brasil*, informe de investigación, Campinas/São Paulo, Instituto de Investigaciones Tecnológicas (IPT)/Fundación de Economía de Campinas (FECAMP)/Universidad Estatal de Campinas (UNICAMP).
- Dornbusch, R. (1987), "Purchasing power parity", *The New Palgrave: A Dictionary of Economics*, J. Eatwell, M. Milgate y P. Newman (eds.), Nueva York, Stockton Press.
- Dosi, G. (2006), *Mudança técnica e transformação industrial: a teoria e uma aplicação à indústria dos semicondutores*, Campinas, Universidad Estatal de Campinas (UNICAMP).
- Dosi, G., P. Llerena y M. S. Labini (2006), "The relationships between science, technologies and their industrial exploitation: an illustration through the myths and realities of the so-called 'European Paradox'", *Research Policy*, vol. 35, N° 10, Amsterdam, Elsevier.
- Dosi, G. y otros (eds.) (1988), *Technical Change and Economic Theory*, Londres, Pinter.
- Dutrénit, G. y V. Arza (2010), "Channels and benefits of interactions between public research organisations and industry: comparing four Latin American countries", *Science and Public Policy*, vol. 37, N° 7, Oxford, Oxford University Press.
- Fagerberg, J., D. Mowery y R. Nelson (eds.) (2005), *The Oxford Handbook of Innovation*, Oxford, Oxford University Press.
- Fajnzylber, F. (2000), "Industrialização na América Latina: da caixa preta ao 'conjunto vazio'", *Cinquenta anos de pensamento na CEPAL*, vol. 2, R. Bielschowsky (org.), Río de Janeiro, Record/Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Freeman, C. (1995), "The 'National System of Innovation' in historical perspective", *Cambridge Journal of Economics*, vol. 19, N° 1, Cambridge, Cambridge University Press.
- (1987), *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*, Londres, Pinter.
- (1983), *Long Waves in the World Economy*, Londres, Pinter.
- Freeman, C. y F. Louçã (2001), *As Time Goes By: From the Industrial Revolutions to the Information Revolution*, Oxford, Oxford University Press.
- Furtado, C. (2002), "Metamorfoses do capitalismo", Río de Janeiro, Discurso en la Universidad Federal de Río de Janeiro, Río de Janeiro, 2 de diciembre [en línea] <http://www.redcelsofurtado.edu.mx/archivosPDF/furtado1.pdf>.
- (1987), "Underdevelopment: to conform or to reform", *Pioneers of Development*, G. Meyer (ed.), Washington, D.C., Oxford University Press/Banco Mundial.
- Griliches, Z. (1990), "Patent statistics as economic indicators: a survey", *Journal of Economic Literature*, vol. 28, N° 4, Nashville, American Economic Association.
- Hall, B. y N. Rosenberg (eds.) (2010), *Handbook of the Economics of Innovation*, vol. 2, Amsterdam, North Holland.
- Kim, L. (1993), "National system of industrial innovation: dynamics of capability building in Korea", *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*, R. Nelson (ed.), Nueva York, Oxford University Press.
- Kruss, G., J. Adeoti y D. Nabudere (2012), "Universities and knowledge-based development in sub-Saharan Africa: comparing university-firm interaction in Nigeria, Uganda and South Africa", *The Journal of Development Studies*, vol. 48, N° 4, Abingdon, Taylor & Francis.
- Lee, K. (2013), *Schumpeterian Analysis of Economic Catch-Up: Knowledge, Path-Creation, and The Middle-Income Trap*, Cambridge, Cambridge University Press.
- (ed.) (2009), *Seoul Journal of Economics*, vol. 22, N° 4, Seúl, Universidad Nacional de Seúl.
- Lundvall, B.-Å. y otros (2009), *Handbook of Innovation Systems and Developing Countries: Building Domestic Capabilities in a Global Setting*, Cheltenham, Edward Elgar.
- Ministerio de Economía (2016), "Relação Anual de Informações Sociais (RAIS)", Brasília [online] <https://portalfat.mte.gov.br/relacao-anual-de-informacoes-sociais-rais-2016/>.
- Moed, H., W. Glänzel y U. Schmoch (eds.) (2004), *Handbook of Quantitative Science and Technology Research: The Use of Publication and Patent Statistics in Studies of S&T Systems*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Nelson, R. (2004), "The challenge of building an effective innovation system for catch-up", *Oxford Development Studies*, vol. 32, N° 3, Abingdon, Taylor & Francis.
- (1993), *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*, Oxford, Oxford University Press.

- OCDE (Organización de Desarrollo y Cooperación Económicos) (2015), *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2015: Innovation for Growth and Society*, París, OECD Publishing.
- Patel, P. y K. Pavitt (1994), "National innovation systems: why they are important, and how they might be measured and compared", *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 3, N° 1, Abingdon, Taylor & Francis.
- Paus, E. (2014), "Latin America and the middle-income trap", *serie Financiamiento para el Desarrollo*, N° 250 (LC/L.3854), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Pavitt, K. (1991), "What makes basic research economically useful?", *Research Policy*, vol. 20, N° 2, Amsterdam, Elsevier.
- Pérez, C. (2010), "Technological revolutions and techno-economic paradigms", *Cambridge Journal of Economics*, vol. 34, N° 1, Cambridge, Cambridge University Press.
- Ribeiro, L. C. y otros (2006), "Science in the developing world: running twice as fast?", *Computing in Science & Engineering*, vol. 8, N° 4, Washington, D.C., Sociedad de Computación IEEE.
- Ribeiro, L. y E. Albuquerque (2015), "O papel da periferia na atual transição para uma nova fase do capitalismo: questões introdutórias nas mudanças da divisão centro-periferia", *Cadernos do Desenvolvimento*, vol. 10, N° 17, Río de Janeiro, Centro Internacional Celso Furtado de Políticas para el Desarrollo.
- Romero, J. P. y otros (2015), "The great divide: the paths of industrial competitiveness in Brazil and South Korea", *Textos para Discussão CEDEPLAR-UFGM*, N° 59, Belo Horizonte, Universidad Federal de Minas Gerais (UFGM).
- Sandelin, B. y N. Sarafoglou (2004), "Language and scientific publication statistics: a note", *Language Problems & Language Planning*, vol. 28, N° 1, Amsterdam, John Benjamins.
- Schmoch, U. (1997), "Indicators and the relations between science and technology", *Scientometrics*, vol. 38, N° 1, Berlín, Springer.
- Silva, L. (2003), *Padrões de interação entre ciência e tecnologia*, tesis para optar al grado de magister, Belo Horizonte, Centro de Desarrollo y Planificación Regional (CEDEPLAR)/Universidad Federal de Minas Gerais (UFGM).
- Teixeira, A. A. C. (2014), "Evolution, roots and influence of the literature on National Systems of Innovation: a bibliometric account", *Cambridge Journal of Economics*, vol. 38, N° 1, Cambridge, Cambridge University Press.
- USPTO (Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos) (s/f) [en línea] <http://www.uspto.gov>.
- Villaschi, A. (1992), "The Brazilian national system of innovation: opportunities and constraints for transforming technological dependence", tesis de doctorado, Londres, Universidad de Londres.
- Viotti, E. (2002), "National Learning Systems: a new approach on technological change in late industrializing economies and evidence from the cases of Brazil and South Korea", *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 69, Amsterdam, Elsevier.