

Flujos intersectoriales de conocimientos tecnológicos en países emergentes: un análisis de insumo-producto

Eduardo Gonçalves y Amir Borges Ferreira Neto

RESUMEN

En este trabajo se procura evaluar la producción, el uso y la difusión de tecnología en la estructura productiva de los países emergentes, en particular del Brasil, China, la Federación de Rusia y Sudáfrica, mediante el análisis de: i) usuarios y productores de tecnología; ii) contenido de investigación y desarrollo (I+D) en cada grupo de sectores, y iii) flujos de conocimientos técnicos entre esos grupos. Para alcanzar los objetivos fijados se utilizan matrices de insumo-producto combinadas con estadísticas de I+D sectoriales. Los principales resultados revelan considerables diferencias entre los países emergentes y también entre países en desarrollo y desarrollados, incluso en la jerarquía sectorial en cuanto a la producción y utilización de conocimientos tecnológicos, y en la dirección de los principales flujos de tecnología entre sectores.

PALABRAS CLAVE	Tecnología, investigación y desarrollo, transferencia de tecnología, producción, países en desarrollo, Brasil, Rusia, China, Sudáfrica
CLASIFICACIÓN JEL	O57, O30, R15
AUTORES	Eduardo Gonçalves es Profesor de la Facultad de Economía de la Universidad Federal de Juiz de Fora (UFJF), Brasil. eduardo.goncalves@uff.edu.br Amir Borges Ferreira Neto es Estudiante de Doctorado en el Departamento de Economía de la West Virginia University, Estados Unidos de América. amneto@mix.wvu.edu

I

Introducción

De acuerdo con Lundvall (2011), el Brasil, China, la India, la Federación de Rusia y Sudáfrica desempeñan un importante papel en el contexto internacional, que va más allá de sus límites territoriales, contingentes de población y producción total. Esa importancia se debe en parte a los cambios que los sistemas nacionales de innovación de esos países han experimentado en los últimos años y que los han convertido en productores de conocimiento, junto con los Estados Unidos de América, Europa y el Japón.

Sin embargo, ¿cuáles de esos países pueden caracterizarse como productores de conocimiento? ¿Y cuáles son los sectores económicos más calificados para generar y difundir conocimiento tecnológico? Si bien los países analizados comparten características típicas de las naciones emergentes que vivieron procesos de industrialización tardía —sustitución de importaciones, diversos grados de apertura económica y dependencia tecnológica en los sectores intensivos en tecnología, entre otros—, puede haber diferencias entre ellos en el proceso de acumulación tecnológica sectorial.

En este trabajo se analizan la intensidad del uso y la producción de conocimiento tecnológico y el flujo intersectorial de conocimientos en el Brasil, China, la Federación de Rusia y Sudáfrica. En particular, se intenta responder a las siguientes preguntas: i) ¿cuáles son las principales diferencias sectoriales en cuanto a la producción y el uso de conocimientos tecnológicos?; ii) ¿cómo se relacionan los resultados de este trabajo con los de otros estudios sobre países desarrollados?; iii) ¿es homogéneo este grupo específico de países emergentes desde el punto de vista de la jerarquía sectorial y los flujos de conocimientos tecnológicos?

La productividad de un sector en una determinada economía depende de sus propias actividades de I+D, pero también de las realizadas por sus socios comerciales en la medida en que se producen esas interrelaciones. Por ese motivo Schmookler (1966), por ejemplo, relaciona las mejoras en el desempeño tecnológico de un sector con las actividades innovadoras provenientes de los demás sectores de la economía. Por lo tanto, el conocimiento técnico producido en un determinado sector no se limita a sus propios gastos en investigación y desarrollo (I+D), pues las compras y ventas intersectoriales permiten la adquisición del conocimiento incorporado en los insumos y bienes de capital.

Si bien el comercio de productos finales, bienes de capital y bienes intermedios puede producir efectos

indirectos (Macdissi y Negassi, 2002), la mera adquisición de tecnología no basta para aumentar la capacidad de innovación de un país importador. Es necesario que en ese país se realicen actividades de I+D concomitantes para obtener los mayores beneficios de la importación de tecnología. Las actividades locales desarrollan la capacidad de absorción y permiten el aprendizaje tecnológico, que a su vez favorece el proceso de recuperación del retraso (Fu, Pietrobelli y Soete, 2011; Li, 2011; Viotti, 2002). Para el análisis de los países emergentes, se necesitaba entonces una metodología que ponderara la importancia de los diversos sectores de la economía en cuanto a la producción de conocimientos tecnológicos con respecto al uso de conocimientos provenientes de fuentes nacionales y extranjeras.

De ahí que, en términos metodológicos, se siguiera la tradición iniciada por Scherer (1982); Papaconstantinou, Sakurai y Wyckoff (1998); Wolff (1997); Van Meijl (1997); Sakurai, Papaconstantinou e Ioannidis (1997); Vuori (1997); Verspagen (1997), y en especial, Hauknes y Knell (2009), en cuyo trabajo se combinan matrices de insumo-producto y datos de I+D, que permiten medir la difusión de la investigación y el desarrollo incorporados en los productos, provenientes de fuentes tanto nacionales como extranjeras.

Se utilizan matrices de insumo-producto relativas al Brasil, China, la Federación de Rusia y Sudáfrica (los datos del Brasil y Sudáfrica corresponden al año 2005 y los de China y la Federación de Rusia al año 2000). En los casos de China, la Federación de Rusia y Sudáfrica se emplean las matrices de insumo-producto de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y los datos de I+D de la Base de datos analítica sobre los gastos de las empresas en investigación y desarrollo (ANBERD), mientras que en el caso del Brasil se utilizan los datos provenientes de la Encuesta de Innovación Tecnológica (PINTEC), realizada por el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE).

El presente trabajo se divide en cinco secciones, además de esta Introducción. En la segunda sección se presenta una revisión teórica y empírica de la literatura, mientras que en la tercera se ofrece una breve descripción de los sistemas nacionales de innovación en los países seleccionados. En la cuarta sección se presentan las bases de datos utilizadas y en la quinta se describen la metodología aplicada y los resultados obtenidos. En la sexta y última sección se presentan las conclusiones.

II

Antecedentes teóricos

Mansfield (1971) subraya la importancia de las fuentes externas de conocimientos, ideas e innovaciones y afirma que la más relevante es el flujo de tecnología de un sector a otro. Pavitt (1984) señala una regularidad empírica que permitió la construcción de una taxonomía que confirma la existencia de ese tipo de flujos intersectoriales de tecnología y conocimiento. Robson, Townsend y Pavitt (1988) también encuentran diferencias sectoriales que derivan de la producción y el uso de innovaciones. Vistos los diferentes modelos de innovación sectorial, Malerba (2004) sugiere la existencia de un sistema sectorial de innovación que comprende diversas bases de conocimiento, tecnologías y procesos de producción específicos y muchos otros aspectos que caracterizan a todos los sectores económicos.

En la taxonomía de Pavitt (1984) se señalan las similitudes y diferencias entre los sectores con respecto a las fuentes, la naturaleza y los efectos de las innovaciones. La taxonomía comprende tres grupos de sectores, a saber: i) sectores dominados por los proveedores; ii) sectores de producción intensiva (que a su vez se dividen en empresas intensivas en economías de escala y proveedores especializados), y iii) sectores basados en la ciencia. Estos tres sectores presentan distintos modelos de innovación, según las fuentes de tecnología (incluidos los laboratorios de I+D, entre otros), los requisitos de los usuarios (precio, rendimiento y fiabilidad) y los derechos de propiedad (secreto comercial, patentes, retrasos técnicos naturales y prolongados, y otros medios no técnicos).

Las empresas pertenecientes a los sectores dominados por los proveedores (textil, madera, productos de papel y madera, actividades de imprenta y editoriales, construcción y servicios, entre otros) brindan pequeños aportes a sus tecnologías de productos y procesos, pero obtienen la mayor parte de sus innovaciones tecnológicas de los proveedores de equipos y materiales. En los sectores intensivos en economías de escala, como las industrias automotriz y siderúrgica, la innovación de procesos es importante y las fuentes de esta son tanto internas (I+D y aprendizaje en la práctica) como externas (productores de equipos). Los proveedores especializados, así como los productores de equipos, también tienen fuentes internas y externas de tecnología. El conocimiento tácito y el conocimiento adquirido mediante la experiencia de trabajadores más calificados pueden citarse como ejemplos de fuentes internas, mientras que la interacción

entre usuarios y productores es un ejemplo de fuente externa. Los sectores basados en la ciencia, como las industrias farmacéutica y electrónica, se caracterizan por altas tasas de innovación de productos y procesos, gastos en I+D e investigación científica realizada en universidades e instituciones gubernamentales.

Las diferencias en los modelos de innovación y la interdependencia tecnológica solo se vuelven evidentes al estudiar las relaciones de insumo-producto en la economía. Las ventajas de utilizar matrices de insumo-producto para examinar los beneficios de la innovación pueden apreciarse en el trabajo de Rosenberg (1982), que hace hincapié en la necesidad de tener en cuenta las relaciones entre las industrias, a objeto de medir los beneficios de la innovación tecnológica para la sociedad. De acuerdo con este autor, la transferencia de cambio tecnológico de un sector a otro mediante la venta de bienes intermedios tiene importantes repercusiones en el análisis del crecimiento de la productividad.

Bell y Pavitt (1993) afirman que, en el caso de los países en desarrollo, las relaciones entre los usuarios y los productores son a veces débiles o inexistentes, y esto tiene consecuencias negativas en las posibilidades de difusión tecnológica y eficiencia del capital social.

En algunos países en desarrollo, la expansión de la industria de bienes de capital y sectores intensivos en economías de escala no estuvo acompañada del desarrollo de sectores productores de instrumentación y maquinaria compleja y especializada o basados en la ciencia. La insuficiente representación de esos sectores en dichas economías crea un marco idóneo para el proceso histórico de dependencia tecnológica y la necesidad de importar procesos técnicos. La industrialización de los países emergentes presentó varias debilidades sectoriales, que crearon brechas en las matrices tecnológicas y especialmente en los sectores de difusión de tecnología, como la industria de bienes de capital. Esto ha debilitado históricamente la capacidad de esos países para crear nuevos productos y procesos.

La actividad tecnológica de los países en desarrollo o de industrialización tardía generalmente se limita a la adaptación de productos y procesos a las condiciones locales o a su mejoramiento. Las actividades más complejas, como el desarrollo de nuevos productos y procesos y la conducción de investigaciones básicas, son menos frecuentes en dichos países (Fransman, 1985).

Esta diferencia en la calificación tecnológica se relaciona con los caminos históricos adoptados en los procesos de industrialización de las economías, que a su vez crean diferencias estructurales entre las economías consideradas en desarrollo y aquellas estimadas como desarrolladas. Una razón puede encontrarse en las políticas de sustitución de las importaciones, que —de acuerdo con Ranis (1984)— produjeron pérdidas en términos de actividades tecnológicas locales, debido al enfoque de “lograr que las cosas se hagan” y obtener tecnologías disponibles en el mercado mundial, especialmente en combinación con políticas que permiten la libre entrada de bienes de capital.

Las consecuencias de un proceso de industrialización en el que no se logra interiorizar el segmento de bienes de capital pueden evaluarse sobre la base de Rosenberg (1976), quien pone de relieve el papel fundamental desempeñado por el sector de las máquinas-herramienta como productor y difusor de nuevas habilidades y técnicas en la economía, en respuesta a pedidos específicos de los clientes.

En algunas economías en desarrollo, el proceso de recuperación del retraso con respecto a la frontera tecnológica fue muy satisfactorio. El Japón se considera el ejemplo más exitoso (Fransman, 1985). En otros países se adoptaron modelos de industrialización que enfatizaban en la capacidad de absorción de las empresas nacionales. Mediante una estrategia de aprendizaje activo para asimilar las fuentes de información tecnológica de las industrias extranjeras, como son las importaciones de bienes de capital, la concesión de licencias tecnológicas y la inversión extranjera directa (IED), en economías como la de la República de Corea se adquirió la habilidad de copiar y, posteriormente, realizar innovaciones graduales en diversos bienes de consumo y de capital (Viotti, 2002).

Los ejemplos de Asia, en particular los países denominados “tigres asiáticos”, mostraron que el éxito del proceso de industrialización y recuperación del retraso suponía mucho más que la absorción de la tecnología incorporada en los bienes de capital, ya que requería la adquisición de habilidades complementarias y la facilitación de relaciones y efectos indirectos entre los sectores económicos (Van Dijk y Szirmai, 2006).

De acuerdo con Bell y Pavitt (1993), los países desarrollados difieren de los países en desarrollo y estos difieren entre sí en términos de acumulación tecnológica debido a tres razones: i) profundidad e intensidad de la acumulación tecnológica dentro de las empresas;

ii) infraestructura institucional relacionada con las instituciones de educación y formación, y con mayores inversiones en capital humano por algunas empresas, y iii) complementariedades entre la importación de tecnología y la acumulación tecnológica local, cuando la adquisición de tecnología extranjera (mediante IED, empresas mixtas, concesión de licencias) se complementa con actividades de I+D nacionales para incrementar la capacidad de absorción tecnológica.

Las particularidades de la acumulación tecnológica en los países emergentes que no siguieron la misma trayectoria que las economías asiáticas como el Japón, la República de Corea y la provincia china de Taiwán, produjeron economías con las siguientes características:

- i) Baja proporción del gasto en I+D dedicado a las actividades tecnológicas, no solo en la economía en general, sino también en los sectores más intensivos en tecnología (media-alta y alta tecnología).
- ii) Elevados gastos en tecnología incorporada en insumos, maquinaria y equipos —en gran parte importada de países en la frontera tecnológica y de otros países emergentes— como proporción de la cantidad total gastada en innovación.

La modesta importancia del gasto en I+D en la estructura económica de los países en desarrollo se relaciona con la escasa representación de los sectores más intensivos en I+D, como aquellos basados en la ciencia. En este contexto, se desea confirmar las siguientes hipótesis: en primer lugar, el Brasil, China, la Federación de Rusia y Sudáfrica no presentan una jerarquía sectorial similar a la de los países en desarrollo en cuanto a su capacidad de producción tecnológica. Sobre la base de las diferencias de peso sectorial en la estructura de insumo-producto de cada economía, se puede formular una segunda hipótesis a corroborar: la dirección de los flujos de conocimientos tecnológicos será diferente entre grupos de sectores. Por ejemplo, los sectores de alta tecnología (basados en la ciencia) pueden surgir como receptores netos de flujos tecnológicos, mientras que aquellos considerados intermedios desde el punto de vista del uso y la difusión de conocimientos tecnológicos, como son los proveedores especializados y los sectores intensivos en economías de escala (Hauknes y Knell, 2009), pueden asumir el papel de proveedores netos de tecnología. La dirección de dichos flujos dentro de cada grupo de sectores también dependerá de las características de cada país, en virtud de la heterogeneidad de sus trayectorias industriales y tecnológicas.

III

Características generales de los sistemas de producción e innovación en los países emergentes

El sistema nacional de innovación no debería entenderse solo como un proceso innovador derivado de la I+D, sino también como una manifestación de varias dimensiones diferentes que abarcan las estructuras de producción, el capital humano y los sistemas financiero y de crédito, entre otros (Cassiolato y Lastres, 2011). Por lo tanto, la posición relativa de cada sistema nacional de innovación refleja un conjunto de condiciones históricas diferente en cada país¹.

Si bien se observa cierta heterogeneidad con respecto a los sistemas políticos, las políticas económicas y las características estructurales, es posible distinguir algunos elementos y tendencias comunes entre los países seleccionados para el estudio (Brasil, China, Federación de Rusia y Sudáfrica):

- i) En los cuatro países se implementaron políticas de sustitución de importaciones y estrategias de apertura económica, aunque en distintos grados (ONUDI, 2012).
- ii) Los recursos energéticos han representado una elevada proporción de la producción total de los cuatro países. Mientras que China se destaca en el campo de la energía renovable (energía eólica), el Brasil tiene un gran potencial en materia de energía hidroeléctrica. El aporte de los recursos naturales al desarrollo económico ha sido muy importante en estos países, en particular en el Brasil y Sudáfrica. De ese modo, la acumulación tecnológica en los países emergentes puede relacionarse con los sectores de energía, en los casos en que estos

representan una parte considerable de la estructura económica. Es entonces necesario determinar si en los cuatro países se observa el mismo modelo de oportunidad tecnológica (tercera hipótesis del trabajo). De acuerdo con Cassiolato y Lastres (2011) y Cassiolato y Vitorino (2011), las mayores oportunidades y limitaciones tecnológicas para el Brasil y Sudáfrica se encuentran en sectores relacionados con el medioambiente.

- iii) Con respecto a la tecnología, el incremento del gasto en I+D en algunos de los países analizados, especialmente en China, ha superado el aumento medio en los países de medianos ingresos. Por otra parte, el lento crecimiento de ese gasto en el Brasil, la Federación de Rusia y Sudáfrica marca una importante diferencia entre los países seleccionados y evidencia que la brecha tecnológica es todavía grande en comparación con los Estados Unidos de América. Se observa que, a partir del año 2000, los indicadores relativos a las patentes aumentaron en China, pero disminuyeron en el Brasil, la Federación de Rusia y Sudáfrica. Naudé, Szirmai y Lavopa (2013) concluyen que, en general, el progreso tecnológico ha sido más prometedor en China que en los otros tres países analizados y hacen hincapié en que las economías de la Federación de Rusia y Sudáfrica están dominadas por la extracción de recursos naturales y los servicios tradicionales.

Pese a las similitudes descritas anteriormente, se aprecian algunas diferencias económicas con respecto a la disponibilidad de mano de obra calificada, la importancia de los diversos sectores económicos en la estructura de producción y el papel de cada grupo de sectores en las dinámicas industriales y tecnológicas de cada país según la intensidad de conocimiento tecnológico. Estas diferencias se examinan en las siguientes secciones.

¹ Véanse detalles sobre la trayectoria histórica del sistema nacional de innovación de la Federación de Rusia, China, Sudáfrica y el Brasil en Gokhberg y otros (2011); Liu y Liu (2011); Kruss y Lorentzen (2011), y Koeller y Cassiolato (2011), respectivamente.

IV

Bases de datos

En este estudio se utilizaron dos tipos de datos: i) las matrices de insumo-producto de la OCDE relativas al Brasil, China, la Federación de Rusia² y Sudáfrica, que contienen información sobre 48 sectores³, y ii) las cifras de I+D de la OCDE que figuran en la base de datos ANBERD⁴. Debido a las características de los dos tipos de bases de datos, la información relativa al Brasil y Sudáfrica corresponde al año 2005, mientras que en el caso de China y la Federación de Rusia⁵ se utilizaron datos del año 2000, pues las cifras de insumo-producto e I+D de 2005 no estaban disponibles. Sin embargo, la comparación entre los países es todavía válida, sobre todo porque el gasto en I+D en el Brasil y Sudáfrica en 2005 era similar al de China y la Federación de Rusia en 2000 (véase el gráfico A.1 del anexo).

Para suplir la falta de información sobre las actividades de I+D brasileñas en la base de datos ANBERD

se decidió emplear los datos de la PINTEC, una encuesta trienal realizada por el IBGE. Esta última sigue los mismos criterios de la primera, lo que permite utilizar en forma conjunta las dos bases de datos, que se compatibilizaron de acuerdo con la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas, Rev.3 (CIU Rev.3).

Los 48 sectores mencionados se dividieron en los 8 grupos de la nueva clasificación de Hauknes y Knell (2009), basada en la taxonomía de Pavitt (1984). En esta última se divide a las industrias en cuatro grupos: i) sectores basados en la ciencia, que dependen en gran medida de las actividades de I+D y del aprendizaje tecnológico; ii) proveedores especializados, que requieren habilidades específicas y pueden adaptar sus productos a las necesidades de sus consumidores; iii) sectores intensivos en economías de escala, que dependen mayormente de la reducción de costos y el mejoramiento de los productos mediante prácticas de ingeniería, y iv) sectores dominados por los proveedores, que realizan mejoras y adaptaciones graduales de las nuevas tecnologías de otros proveedores.

Hauknes y Knell (2009) dividieron el grupo “dominado por los proveedores” en dos subgrupos: sectores productores de energía y sectores tradicionales. A su vez, clasificaron los materiales por separado y distinguieron dos clases de servicios: servicios intensivos en conocimiento y otros servicios. De ese modo, obtuvieron ocho grupos de sectores: i) energía; ii) tradicionales; iii) materiales; iv) intensivos en economías de escala; v) proveedores especializados; vi) basados en la ciencia; vii) servicios, y viii) servicios intensivos en conocimiento.

² A causa de varias limitaciones, los datos de la industria farmacéutica en la Federación de Rusia estaban agregados con los de la industria química. Para desagregarlos se utilizó la media de la participación de la industria farmacéutica en la industria química en el Brasil (15%) y China (16%) como valor sustitutivo. En el caso de los países en la frontera tecnológica donde surgió la misma limitación, se utilizó el valor agregado para desagregar las dos industrias.

³ Véase el cuadro A.1 del anexo.

⁴ ANBERD es una base de datos creada para brindar a los analistas (información) datos comprensibles y comparables internacionalmente sobre el gasto industrial en I+D, incluidas las correspondientes series cronológicas.

⁵ A pesar de la disponibilidad de información sobre insumo-producto en la India, este país no pudo incluirse en el análisis debido a la falta de datos sobre el gasto sectorial en I+D comparables con los de la base de datos ANBERD.

V

Consideraciones metodológicas y resultados

La matriz de insumo-producto describe los flujos intersectoriales en una economía nacional, regional o global. El principal objetivo de este tipo de matriz es analizar la interdependencia industrial en una determinada economía (Miller y Blair, 2009). Aplicado en este contexto,

este enfoque metodológico permite explicitar algunas características de un determinado sistema nacional de innovación, pues pone de relieve la interdependencia con respecto a los flujos de conocimientos tecnológicos y productivos.

Al permitir el análisis de los flujos intersectoriales, la matriz de insumo-producto se convierte en una forma de medir los efectos indirectos del conocimiento técnico en los sectores industriales. Tales efectos pueden definirse como las externalidades que surgen de la inversión de un agente en actividades de I+D que facilitan la labor de innovación de otro agente (Breschi y Lissoni, 2001). En general, las matrices de insumo-producto captan un tipo de efecto indirecto denominado externalidad pecuniaria (*rent spillover*) (Griliches, 1979). Sobre la base de la literatura, se asume entonces que las inversiones en I+D están incorporadas en los insumos adquiridos y se utilizan las ventas de insumos intermedios como factor de ponderación para medir el efecto indirecto intersectorial (Terleckyj, 1974; Wolff, 1997; Wolff y Nadiri, 1993).

1. Matriz de insumo-producto

Una matriz de insumo-producto es un intento de aplicar el modelo neoclásico de equilibrio general. En consecuencia, se propone una matriz de insumo-producto que describe los flujos monetarios de una economía:

$$Z + f = x \quad (1)$$

donde Z es una matriz que representa el consumo intermedio, f es el vector de la demanda final y x es el vector de producción bruta. Al transformar el vector x en una matriz diagonal se obtiene x^D . De ese modo, la matriz A de coeficientes técnicos puede definirse como:

$$A = Z(x^D)^{-1} \quad (2)$$

Cada elemento de A se define como $a_{ij} = z_{ij}/x_j$, que corresponde a la proporción de insumos que la industria j necesita de la industria i para producir 1 dólar de producto.

Al utilizar (2) para resolver (1), se obtiene:

$$AX + f = x \quad (3)$$

y, después de algunas manipulaciones algebraicas, se obtiene:

$$X = Bf \quad (4)$$

donde B es la llamada matriz inversa de Leontief, definida como $B = (I - A)^{-1}$. Los elementos b_{ij} de la matriz B pueden entenderse como los requisitos directos e indirectos de la industria j para alcanzar una unidad de crecimiento de la producción en la industria i .

Una limitación de este enfoque consiste en que los cambios tecnológicos son exógenos al sistema económico, pues la tecnología está representada por los coeficientes técnicos de la matriz de insumo-producto. No obstante, el análisis presentado se refiere a un único período y se concentra en la estructura de producción y los flujos de insumos entre los diferentes sectores de la economía, de modo que la metodología utilizada resulta adecuada para este tipo de análisis.

2. Investigación y desarrollo (I+D) incorporados y flujos

Con respecto a las actividades innovadoras, el conocimiento productivo de la industria j comprende los gastos directos de I+D y también aquellos incorporados en los insumos nacionales adquiridos, los bienes y servicios derivados de la inversión nacional, los insumos intermedios importados y los bienes y servicios derivados de la inversión importada.

Los cálculos de Hauknes y Knell (2009) permiten medir la difusión de la I+D incorporada en los productos. Los autores dividen la intensidad del contenido total de I+D en la industria j (s_j^x) en seis componentes: I+D propia (r_j^d), intensidad de I+D incorporada en los insumos nacionales (t_j^d), intensidad de I+D incorporada en los insumos extranjeros (t_j^m), I+D incorporada en los bienes de capital nacionales adquiridos (t_j^{dc}) e I+D incorporada en los bienes de capital extranjeros adquiridos (t_j^{mc}). Matemáticamente se obtiene⁶:

$$s_j^x = r_j^d + t_j^d + t_j^m + t_j^{dc} + t_j^{mc} \quad (5)$$

donde

$$r_j^d = tx_j^d \quad \text{si } i = j \quad (6)$$

$$t_j^d = \sum_{i, i \neq j} \left[r_i (b_{ij}/b_{ji}) \right] \quad (7)$$

$$s_j^d = r_j^d + t_j^d = \sum_i \left[r_i (b_{ij}/b_{ji}) \right] \quad (8)$$

$$t_j^m = \sum_i (R_i^F m_{ij}) \quad (9)$$

⁶ $Tx = r^D O = [tx_{ij}]$, donde $O = B(B^D)^{-1}$, B^D es una matriz con los elementos diagonales de B , y r^D es la matriz del vector r diagonalizado, donde $r_i = R_i/x_i$, y R_i es el gasto en I+D de la industria i . Tx medirá entonces el gasto total de I+D incorporada, o la intensidad de tecnología de la industria j con respecto a la producción total de esa industria. Véanse más detalles en Hauknes y Knell (2009).

donde (t_j^m) es el gasto de I+D incorporado en los insumos importados, R_i^F es la frontera tecnológica, definida como la intensidad de investigación y desarrollo media de los Estados Unidos de América y algunos países de Europa⁷, y m_{ij} son los elementos de la matriz M de coeficientes importados de todos los sectores extranjeros i para el sector nacional j .

$$t_j^{dc} = \sum_i \left\{ r_i \left[\sum_k (b_{ik} I_{kj}^d) \right] \right\} \quad (10)$$

$$t_j^{mc} = \sum_i (R_i^F I_{ij}^m) \quad (11)$$

donde I_{kj}^d e I_{ij}^m se construyen dividiendo el vector de formación bruta de capital fijo (FBCF) por el vector de producción bruta. En el primer caso se utilizaron los datos de la matriz nacional y en el segundo los de la matriz de insumos extranjeros.

En relación con los flujos, sea Z^t la matriz de consumo intermedio total, teniendo en cuenta también las importaciones. A^t se considerará como la matriz de coeficientes técnicos y B^t la matriz inversa de Leontief, definida como $B^t = (I - A^t)^{-1} = [b_{ij}^t]$. La matriz L de elementos l_{ij} se utiliza para medir la amplitud de la relación agregada entre las industrias i y j , de manera que:

$$l_{ij} = b_{ij}^t / (b_{ii}^t b_{jj}^t - b_{ij}^t b_{ji}^t) \quad (12)$$

Cabe señalar que, en este punto, la matriz B^t no se transforma en la matriz O , pues si bien esta última tiene sentido desde un punto de vista matemático, no lo tiene desde un punto de vista económico, como señalan Hauknes y Knell (2009). A partir de la ecuación (12) es posible calcular el flujo tecnológico de i a j como:

$$f_i^j = (r_i l_{ij} x_j) / (r_j x_j) \quad (13)$$

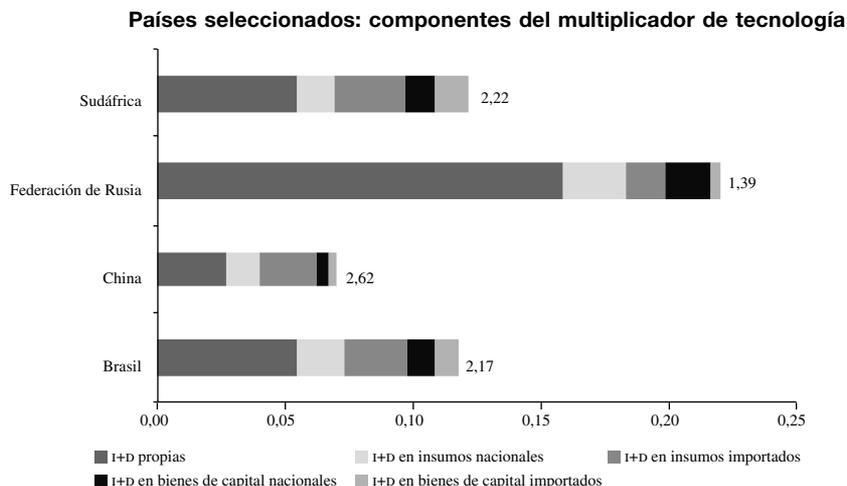
Siguiendo la metodología descrita anteriormente, es posible descomponer la intensidad tecnológica en cinco elementos, como se describe en la ecuación (5). El resultado se puede apreciar en el gráfico 1, en el que se muestran la intensidad tecnológica total en cada país y el multiplicador de tecnología, definido como la razón entre la intensidad tecnológica total y la intensidad de I+D :

$$MTEC = \sum_j s_j^x / \sum_j r_j \quad (14)$$

Esta ecuación debe interpretarse de la siguiente manera: si el multiplicador de tecnología es igual a uno, la industria es productora neta de tecnología, mientras que si el multiplicador de tecnología tiende al infinito, la industria es usuaria neta de tecnología. Con respecto a la magnitud, los multiplicadores de tecnología pueden interpretarse del siguiente modo: los países productores de conocimiento presentan un multiplicador bajo, mientras que los países usuarios de conocimiento presentan un multiplicador alto.

⁷ Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Irlanda, Italia, los Países Bajos, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte y Suecia.

GRÁFICO 1



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los datos relativos al Brasil y Sudáfrica corresponden al año 2005, mientras que los datos de China y la Federación de Rusia corresponden al año 2000.

En general, los valores absolutos de los multiplicadores son más altos que los obtenidos por Hauknes y Knell (2009) con respecto a los países de la OCDE, en consonancia con el papel desempeñado por cada grupo de países en función de su proximidad a la frontera tecnológica. Con ese criterio, China sería el mayor usuario de conocimiento técnico extranjero. Sin embargo, visto que los datos de China corresponden al año 2000, es de esperar que su multiplicador de tecnología haya disminuido en los últimos años, dado que la relación del gasto en I+D con respecto al producto interno bruto (PIB) casi se duplicó entre 2000 y 2009, al pasar del 0,90% al 1,70%. Al mismo tiempo, la evolución del Brasil, la Federación de Rusia y Sudáfrica en cuanto a los gastos en I+D ha sido más modesta en la década de 2000 (véase el gráfico A.1(a) del anexo), lo que podría prolongar su condición de usuarios de tecnología.

El valor del multiplicador de tecnología de la Federación de Rusia es el más bajo en términos absolutos y refleja las condiciones históricas del país, en el que se hicieron grandes inversiones en la construcción de los sistemas de ciencia y tecnología y en el desarrollo de sectores de alto estándar tecnológico, como la electrónica, para uso militar. Varios autores, entre ellos ONUDI (2012) y Gokhberg y otros (2011), destacaron la importancia de la ex Unión Soviética en la capacidad de innovación rusa actual, a pesar de la escasa inversión del país en I+D con respecto a otros países emergentes en la década de 2000.

En todos los países, excepto en China, la I+D propia supera el 40% de la intensidad de tecnología total. La I+D en los bienes de capital extranjero representa el 8% de la intensidad de tecnología en el Brasil y el 11% en Sudáfrica, pero solo el 5% en China y el 2% en la Federación de Rusia. Por el contrario, la participación porcentual de los componentes nacionales alcanza, sorprendentemente, a más del 60% en todos los países analizados. Los multiplicadores más altos se registran en Sudáfrica y China, aunque su proporción de componentes nacionales es la más baja: 66% y 63%, respectivamente. Por otra parte, en la Federación de Rusia se registran la proporción más alta (91%) y el multiplicador más bajo.

Si bien Hauknes y Knell (2009) desarrollaron la metodología utilizada en este trabajo, la emplearon únicamente para el estudio de algunos países desarrollados (Alemania, Estados Unidos de América, Francia, Noruega y Suecia) en el año 2000. Con ese fin utilizaron las matrices de insumo-producto de la OCDE y la información sobre I+D de la base de datos ANBERD.

Al comparar la composición de los multiplicadores de tecnología de los países analizados en este trabajo con

la de los países desarrollados estudiados por Hauknes y Knell (2009) se puede apreciar que, en ambos casos, la I+D propia constituye el principal componente del multiplicador. Por otra parte, la dependencia tecnológica resulta evidente, en particular en los casos del Brasil, China y Sudáfrica, cuando se observa que la proporción de I+D incorporada en los bienes de capital importados es, en promedio, mucho menor en los países desarrollados que en los países emergentes. Pese a que la I+D incorporada en los insumos y los bienes de capital permiten evaluar la I+D producida en la frontera tecnológica, el bajo nivel de I+D interna puede comprometer el aprendizaje tecnológico eficaz, como se mencionó en la sección II.

En el cuadro 1 se desglosa la información contenida en el gráfico 1 por sectores. Los resultados también derivan de la ecuación (5). En línea con el gráfico 1, en el cuadro 1 se confirma que la I+D propia es el componente más importante en la mayoría de los sectores, excepto cuando el multiplicador tiene una magnitud elevada. Esta es menos significativa en el caso de los servicios en el Brasil y China o de los sectores tradicionales en China, la Federación de Rusia y Sudáfrica. Un patrón similar entre los países emergentes es que la intensidad de I+D propia es en general menor en los sectores tradicionales y de servicios. En el Brasil y la Federación de Rusia, los sectores de servicios intensivos en conocimiento están entre aquellos con la mayor intensidad de I+D propios.

Sobre la base de las hipótesis planteadas en las secciones II y III, se esperaría que en algunos sectores, incluso los basados en la ciencia, el valor absoluto del multiplicador de tecnología fuera más alto que en otros sectores de las economías de los países emergentes, debido a la absorción externa de conocimiento derivada de la I+D.

En China y la Federación de Rusia, los sectores basados en la ciencia y los servicios intensivos en conocimiento muestran, en general, los valores más bajos con respecto a los demás sectores. Esto indica que son productores de conocimiento tecnológico, sobre la base del valor del multiplicador de tecnología por sector (véase el cuadro 1). En el Brasil, sin embargo, los sectores basados en la ciencia son más usuarios que productores de conocimiento y su situación es peor que la de la mayoría de los demás sectores. Esto revela debilidades en los sectores farmacéutico y de electrónica, de acuerdo con el peso de las importaciones en esas áreas, según se observa en la tercera y quinta columnas del cuadro 1, donde el contenido de la I+D extranjera en los insumos y bienes de capital es más alto en el sector basado en la ciencia, y en el cuadro A.3 del anexo, donde

las importaciones representan el 32% de la producción bruta del sector en 2005.

En los sectores con menor intensidad de tecnología total se observó el mismo patrón que en los países de la OCDE estudiados por Hauknes y Knell (2009). Sin embargo, una importante diferencia entre estos últimos y los países emergentes es la gran distancia relativa entre los principales sectores en cuanto a I+D propios (que son siempre los basados en la ciencia) y los demás sectores de la taxonomía. Asimismo, en el caso de los proveedores especializados, las industrias intensivas en economías de escala y los servicios intensivos en conocimiento, la intensidad de I+D está en un nivel intermedio entre los sectores basados en la ciencia y los sectores tradicionales y de servicios en los países desarrollados.

En general, las diferencias entre los países emergentes y desarrollados ponen de relieve la escasa presencia de los sectores basados en la ciencia en la estructura industrial de los primeros. Estos sectores en los países emergentes no están preparados para llevar a cabo sus propias actividades de I+D y ello se refleja en el valor absoluto de los multiplicadores.

A diferencia de lo que ocurre en los países desarrollados, en algunos casos los sectores basados en la ciencia de los países emergentes muestran multiplicadores más altos en comparación con los sectores de energía, tradicionales y de materiales, excepto en China y la Federación de Rusia. Así, desde el punto de vista de la producción de conocimiento tecnológico y sobre la base del valor absoluto del multiplicador de tecnología, se puede afirmar que no hay una jerarquía sectorial similar a la observada en los países desarrollados. Como se puede apreciar al comparar el cuadro 1 con los resultados de Hauknes y Knell (2009), en los países emergentes, los sectores basados en la ciencia muestran una mayor dependencia de la actividad de I+D efectuada por los proveedores de insumos y bienes de capital nacionales y extranjeros, en comparación con esos mismos sectores en los países desarrollados. Esto es particularmente cierto en el Brasil y Sudáfrica, mientras que en China y la Federación de Rusia la situación de los sectores basados en la ciencia es similar a la de sus equivalentes en los países desarrollados, donde el multiplicador de tecnología presenta un valor absoluto más bajo.

CUADRO 1

Países emergentes seleccionados: contenido total de (I+D) y multiplicador de tecnología por sector

	I+D propia	I+D en insumos nacionales	I+D en insumos importados	I+D en bienes de capital nacionales	I+D en bienes de capital importados	I+D incorporada total	Multiplicador de tecnología	
Brasil	1. Energía	0,0030	0,0015	0,0007	0,0003	0,0000	0,0056	1,88
	2. Tradicionales	0,0008	0,0020	0,0001	0,0003	0,0000	0,0032	3,86
	3. Materiales	0,0023	0,0031	0,0020	0,0004	0,0000	0,0079	3,41
	4. Intensivos en economías de escala	0,0095	0,0019	0,0040	0,0025	0,0011	0,0190	2,01
	5. Proveedores especializados	0,0076	0,0039	0,0014	0,0026	0,0038	0,0194	2,55
	6. Basados en la ciencia	0,0106	0,0034	0,0157	0,0034	0,0042	0,0373	3,52
	7. Servicios	0,0003	0,0017	0,0006	0,0001	0,0000	0,0026	10,11
	8. Servicios intensivos en conocimiento	0,0202	0,0007	0,0006	0,0011	0,0001	0,0227	1,12
China	1. Energía	0,0011	0,0011	0,0002	0,0001	0,0000	0,0026	2,29
	2. Tradicionales	0,0005	0,0015	0,0003	0,0002	0,0000	0,0026	4,85
	3. Materiales	0,0021	0,0014	0,0014	0,0004	0,0000	0,0054	2,52
	4. Intensivos en economías de escala	0,0038	0,0015	0,0021	0,0008	0,0004	0,0085	2,27
	5. Proveedores especializados	0,0042	0,0020	0,0132	0,0011	0,0009	0,0214	5,14
	6. Basados en la ciencia	0,0125	0,0023	0,0049	0,0012	0,0020	0,0228	1,83
	7. Servicios	0,0003	0,0017	0,0002	0,0000	0,0000	0,0022	7,88
	8. Servicios intensivos en conocimiento	0,0021	0,0021	0,0000	0,0001	0,0000	0,0043	2,02
Federación de Rusia	1. Energía	0,0002	0,0032	0,0007	0,0000	0,0000	0,0040	20,67
	2. Tradicionales	0,0003	0,0019	0,0015	0,0001	0,0000	0,0037	14,47
	3. Materiales	0,0008	0,0019	0,0018	0,0001	0,0000	0,0045	5,70
	4. Intensivos en economías de escala	0,0395	0,0025	0,0064	0,0007	0,0002	0,0493	1,25
	5. Proveedores especializados	0,0061	0,0040	0,0031	0,0017	0,0021	0,0169	2,75
	6. Basados en la ciencia	0,0289	0,0072	0,0007	0,0001	0,0000	0,0371	1,28
	7. Servicios	0,0015	0,0023	0,0013	0,0002	0,0000	0,0053	3,47
	8. Servicios intensivos en conocimiento	0,0811	0,0016	0,0001	0,0149	0,0021	0,0997	1,23

Cuadro 1 (conclusión)

	I+D propia	I+D en insumos nacionales	I+D en insumos importados	I+D en bienes de capital nacionales	I+D en bienes de capital importados	I+D incorporada total	Multiplicador de tecnología	
Sudáfrica	1. Energía	0,0053	0,0013	0,0013	0,0007	0,0001	0,0086	1,64
	2. Tradicionales	0,0006	0,0019	0,0009	0,0002	0,0000	0,0036	5,94
	3. Materiales	0,0027	0,0015	0,0037	0,0008	0,0005	0,0092	3,35
	4. Intensivos en economías de escala	0,0049	0,0018	0,0035	0,0011	0,0010	0,0124	2,51
	5. Proveedores especializados	0,0056	0,0027	0,0040	0,0012	0,0011	0,0146	2,61
	6. Basados en la ciencia	0,0316	0,0022	0,0137	0,0067	0,0103	0,0645	2,04
	7. Servicios	0,0023	0,0007	0,0006	0,0007	0,0000	0,0044	1,89
	8. Servicios intensivos en conocimiento	0,0017	0,0019	0,0003	0,0001	0,0000	0,0041	2,43

Fuente: Elaboración propia.

La estructura de la Federación de Rusia es más parecida a la de los países más desarrollados, pues los sectores basados en la ciencia, los servicios intensivos en conocimiento y los sectores intensivos en economías de escala se consideran productores de tecnología y los multiplicadores de tecnología presentan los valores más bajos. El legado de la ex Unión Soviética explica estos indicadores. Sin embargo, la relación del gasto en I+D con respecto al PIB ha ido disminuyendo desde 2003, lo que podría comprometer la posición del país como productor de conocimiento en esos sectores (véase el gráfico A.1 del anexo).

En el cuadro 2 se muestran los flujos de conocimiento intersectoriales. Hauknes y Knell (2009) crearon su matriz de flujos utilizando el principio de variaciones en los flujos de insumo-producto intermedios desagregados. Sin embargo, debido a que la matriz ya estaba desagregada en ocho grupos tecnológicos, se utilizó el flujo neto como referencia. Así, si el valor es igual a cero, hay un flujo bidireccional. Si el valor es negativo, el flujo es estrictamente desde el sector en la columna al sector en la fila, mientras que si el valor es positivo sucede lo contrario: el flujo es estrictamente desde el sector en la fila al sector en la columna. De estos resultados surgen algunos patrones, entre ellos el flujo del sector de energía al sector tradicional, excepto en el caso de la Federación de Rusia, donde es bidireccional.

El grupo de servicios intensivos en conocimiento comprende servicios intensivos en ciencia y tecnología, como la informática, las actividades de I+D y otros servicios empresariales. En el Brasil y la Federación de Rusia se observa un flujo de este sector hacia los otros. En general en China y Sudáfrica esos flujos están invertidos, lo que indica una capacidad tecnológica inferior a la de otros sectores en la estructura de producción.

Si bien en los sectores basados en la ciencia predominan los flujos en la dirección esperada (positivos),

se observan numerosos flujos bidireccionales, que indican que también otros sectores son proveedores de conocimiento tecnológico para los sectores de base científica. Este resultado difiere de la situación en los países desarrollados, donde prevalecen los flujos positivos, pues los sectores basados en la ciencia son sobre todo proveedores de conocimiento tecnológico (Hauknes y Knell, 2009).

Los flujos de los proveedores especializados se dirigen hacia sectores más básicos (energía, tradicionales y materiales) en China y la Federación de Rusia. En el Brasil y Sudáfrica el flujo va de los proveedores especializados a los sectores tradicionales, mientras que el flujo hacia los sectores de energía y materiales es bidireccional en el Brasil e inverso en Sudáfrica.

Por otra parte, en el Brasil, China y la Federación de Rusia la dirección de los flujos tecnológicos entre los proveedores especializados y los sectores intensivos en economías de escala parece estar invertida, pues estos últimos son los que proporcionan las tecnologías utilizadas por los proveedores. Esta dirección de los flujos es la misma que se observa en Alemania y los Estados Unidos de América, como señalan Hauknes y Knell (2009).

Los sectores intensivos en economías de escala son las industrias química, metalúrgica y de fabricación de automóviles, aviones, barcos y ferrocarriles. Con respecto a la producción bruta, dichos sectores tienen una participación del 9,8%, el 3% y el 11% en el Brasil, la Federación de Rusia y China, respectivamente, mientras que la participación de los proveedores especializados es del 3% en el Brasil, el 9% en la Federación de Rusia y el 10% en China. Esto indica que esos sectores no representan una gran proporción de la producción de estos países emergentes con respecto a otros sectores (véase el cuadro A.3 del anexo).

Sin embargo, no se puede decir lo mismo al analizar la proporción de I+D en cada sector con relación al gasto

CUADRO 2

Países emergentes seleccionados: flujos netos intersectoriales ponderados por la I+D

	1. Energía	2. Tradicionales	3. Materiales	4. Intensivos en economías de escala	5. Proveedores especializados	6. Basados en la ciencia	7. Servicios	
Brasil	1. Energía							
	2. Tradicionales	-0,2						
	3. Materiales	-0,1	0,2					
	4. Intensivos en economías de escala	0,1	0,8	0,5				
	5. Proveedores especializados	0,0	0,1	0,0	-0,2			
	6. Basados en la ciencia	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0		
	7. Servicios	-0,5	-0,1	-0,1	-0,8	-0,2	-0,2	
	8. Servicios intensivos en conocimiento	0,3	0,6	0,3	0,1	0,1	0,1	3,7
China	1. Energía							
	2. Tradicionales	-0,2						
	3. Materiales	0,1	0,4					
	4. Intensivos en economías de escala	0,1	0,6	0,1				
	5. Proveedores especializados	0,2	0,4	0,0	0,0			
	6. Basados en la ciencia	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0		
	7. Servicios	-0,3	-0,2	-0,5	-0,8	-0,9	-1,7	
	8. Servicios intensivos en conocimiento	0,0	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3	0,3
Federación de Rusia	1. Energía							
	2. Tradicionales	0,0						
	3. Materiales	0,0	0,2					
	4. Intensivos en economías de escala	1,8	2,3	0,5				
	5. Proveedores especializados	0,5	0,7	0,1	-0,1			
	6. Basados en la ciencia	0,3	0,4	0,1	-0,1	0,0		
	7. Servicios	1,3	0,7	0,2	-0,3	-0,1	0,0	
	8. Servicios intensivos en conocimiento	9,6	2,0	0,9	0,0	0,3	0,0	0,8
Sudáfrica	1. Energía							
	2. Tradicionales	-0,8						
	3. Materiales	-0,1	0,4					
	4. Intensivos en economías de escala	-0,1	0,1	0,0				
	5. Proveedores especializados	-0,1	0,1	-0,1	0,0			
	6. Basados en la ciencia	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0		
	7. Servicios	0,0	0,8	0,1	0,0	0,1	0,0	
	8. Servicios intensivos en conocimiento	-0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,5

Fuente: Elaboración propia.

total en estas actividades. En ese sentido, los sectores intensivos en economías de escala son muy importantes en términos de innovación e inversión, pues representan el 31% de la I+D en el Brasil, el 23% en la Federación de Rusia y el 20% en China. Por otra parte, los proveedores especializados representan el 7% de la I+D en el Brasil, el 11% en la Federación de Rusia y el 19% en China. Sumados, los dos sectores representan más de un tercio de la I+D en cada país.

Aunque en general existe una cierta heterogeneidad en la dirección de los flujos de conocimiento tecnológico entre los países emergentes, se pueden distinguir las siguientes similitudes:

- i) Los sectores considerados intermedios en el uso y la difusión de conocimiento tecnológico (proveedores especializados y sectores intensivos en economías de escala) desempeñan un papel muy importante en la producción de ese conocimiento en los países

- desarrollados. En los países en desarrollo, esos sectores superan a veces a los sectores considerados de alto nivel tecnológico, cuando se tienen en cuenta los multiplicadores de tecnología. Esta situación refleja la historia de industrialización y dependencia tecnológica de los países en desarrollo.
- ii) Sobre la base del multiplicador de tecnología y la dirección de los flujos, el sector de la energía en el Brasil, China y Sudáfrica constituye más un productor que un usuario de conocimiento. En el caso de la Federación de Rusia, si bien el sector representa una mayor proporción de la producción, constituye más un usuario que un productor de conocimiento tecnológico (el 12% de la producción bruta y el 0,7% del gasto en I+D). Este resultado confirma que el Brasil, China y Sudáfrica tienen una oportunidad tecnológica con respecto al sector de la energía.
 - iii) El sector basado en la ciencia presenta multiplicadores elevados y no sigue la jerarquía sectorial de los países desarrollados, especialmente en el Brasil y Sudáfrica. Con respecto a la dirección de los flujos de tecnología, de acuerdo con Pavitt (1984), aunque en algunos casos se observa la dirección esperada, el patrón más frecuente es el de flujos bidireccionales. Este resultado contrasta con las observaciones de Hauknes y Knell (2009) respecto de los países desarrollados, donde el sector basado en la ciencia es sobre todo proveedor de tecnología. Esto refleja la dependencia tecnológica de los países emergentes.
 - iv) Los servicios intensivos en conocimiento se comportan del modo esperado en el Brasil y la Federación de Rusia, es decir, como proveedores de tecnología, pero de manera diversa en China y Sudáfrica. A pesar del crecimiento significativo del sector terciario en Sudáfrica desde 1994, el nivel de educación del país es todavía bajo y afecta negativamente el desempeño de sectores como el de los servicios intensivos en conocimiento (ONUDI, 2012). En China, por otra parte, la profundización del desarrollo industrial en la década de 2000 favoreció el crecimiento del sector de bienes de capital. Ambos casos difieren del Brasil, donde, si bien el proceso de industrialización no culminó en el desarrollo pleno del sector de bienes de capital, hubo un cierto desarrollo de servicios modernos e intensivos en conocimiento para apoyar a las industrias.

VI

Conclusiones

Ante la creciente importancia relativa de algunos países emergentes en la producción y difusión de tecnología, entre ellos el Brasil, China, la Federación de Rusia y Sudáfrica, se procuró contribuir empíricamente al debate acerca de ese tema, pues la literatura comparada sobre los sistemas nacionales de innovación de esos países es escasa. En consecuencia, se calcularon diferentes indicadores, como multiplicadores de tecnología, contenido total de I+D y flujos de conocimiento tecnológico. Con ese propósito se utilizaron matrices de insumo-producto relativas al Brasil, China, la Federación de Rusia y Sudáfrica, y se agregaron los sectores según la taxonomía de Pavitt (1984) ampliada por Hauknes y Knell (2009).

En general, los principales resultados evidenciaron disparidades entre los llamados países BRICS (Brasil, Federación de Rusia, India, China y Sudáfrica)⁸.

Desde el punto de vista del contenido total de I+D, el multiplicador de tecnología y los flujos tecnológicos, la Federación de Rusia está más cerca de los resultados de los países desarrollados, sobre la base de indicadores del año 2000. Sin embargo, esos indicadores pueden empeorar como consecuencia de un gasto débil en I+D durante la década de 2000.

Si bien los flujos tecnológicos netos revelan cierta heterogeneidad entre los países en desarrollo, es posible encontrar algunos puntos en común. La metodología adoptada permitió comparar la dirección de los flujos de estos países con la de los países desarrollados, lo que reveló pocas similitudes.

Se pusieron a prueba todas las hipótesis y tuvo que rechazarse la que planteaba que la jerarquía sectorial sería similar a la de los países desarrollados. La hipótesis

⁸ En algunos estudios, como el de Armijo (2007), se argumenta que esta sigla no es una buena manera de agrupar a estos países como

categoría analítica. Los resultados de este trabajo corroboran ese estudio desde una perspectiva tecnológica.

de que los flujos tecnológicos en los países emergentes analizados se comportarían de manera diferente en los sectores basados en la ciencia, intensivos en economías de escala y de proveedores especializados se rechazó parcialmente, puesto que los sectores basados en la ciencia no constituyen un difusor de tecnología en la economía. En algunos casos, los sectores intensivos en economías de escala y de proveedores especializados asumen incluso una posición más importante en la jerarquía sectorial o en la dirección de los flujos tecnológicos. Por último, con respecto a la hipótesis de oportunidad tecnológica, se puede afirmar que no todos los países emergentes presentan el mismo modelo, aunque hay algunas similitudes, por ejemplo en los sectores de energía del Brasil, China y Sudáfrica.

Las características de los flujos en los sectores que son receptores netos de tecnología, como los sectores tradicionales, de materiales y de servicios, son similares a las de los países desarrollados. En sectores como el de servicios intensivos en conocimiento, el flujo va en la dirección esperada, pero estos sectores no son homogéneos en los cuatro países analizados. En el Brasil y la Federación de Rusia son proveedores netos de tecnología, pero no ocurre lo mismo en China y Sudáfrica, resultado que se explica por las distintas trayectorias de industrialización de cada economía. El sector de energía resulta muy diferente del mismo sector en los países desarrollados, ya que en el Brasil, China y Sudáfrica constituye un proveedor de tecnología.

Las diferencias entre los países analizados apoyan la opinión de que los países BRICS no presentan la homogeneidad que normalmente se espera en un bloque de países, sobre todo con respecto a los indicadores de flujo de tecnología y capacidad sectorial para la producción y el uso de esta.

Por último, Hauknes y Knell (2009) señalan que los proveedores especializados y las industrias intensivas en economías de escala (de media-alta y media-baja tecnología) son los sectores más relevantes para el crecimiento económico, y que los servicios de alta tecnología son importantes porque funcionan como una interconexión entre los grupos de industrias. Sobre la base de la I+D incorporada y los flujos netos, se puede afirmar que los sectores de media tecnología son relativamente menos relevantes en el Brasil y Sudáfrica que en China y la Federación de Rusia. Al mismo tiempo, los servicios intensivos en conocimiento parecen ser más gravitantes en el Brasil y la Federación de Rusia que en China y Sudáfrica. De este modo, se concluye que la Federación de Rusia está mejor posicionada para lograr un mayor crecimiento económico como resultado del desarrollo tecnológico, seguida por China, el Brasil y Sudáfrica, en ese orden.

En una futura ampliación de este trabajo se podría evaluar la dimensión temporal de los indicadores de producción y uso del conocimiento tecnológico y de los flujos intersectoriales para tener en cuenta los cambios estructurales en las dinámicas tecnológicas de los países emergentes. Esa tarea dependería de la disponibilidad y comparabilidad de datos de insumo-producto y de la I+D de los cuatro países (Brasil, China, Federación de Rusia y Sudáfrica). Otra posible ampliación surge de las limitaciones del presente trabajo, en el que solo se evalúan las actividades tecnológicas locales y la difusión de tecnología incorporada por medio del gasto en I+D. Si los datos estuvieran disponibles, podrían utilizarse otros tipos de gastos innovadores (compra de maquinaria, capacitación de trabajadores, proyectos industriales, concesión de licencias y adquisición de conocimientos técnicos, entre otros).

ANEXO

CUADRO A.1

Compatibilización de la matriz de insumo-producto y clasificación sugerida

Insumo-producto según la OCDE	Clasificación
1. Agricultura, caza, silvicultura y pesca	2
2. Explotación de minas y canteras (energía)	1
3. Explotación de minas y canteras (excepto energía)	3
4. Productos alimenticios, bebidas y tabaco	2
5. Textiles, productos textiles, cuero y calzado	2
6. Madera y productos de madera y corcho	2
7. Pasta, papel, productos de papel, actividades de imprenta y editoriales	2
8. Coque, productos refinados del petróleo y combustible nuclear	1
9. Productos químicos, excepto productos farmacéuticos	4
10. Productos farmacéuticos	6
11. Productos de caucho y plásticos	3
12. Otros productos minerales no metálicos	3
13. Hierro y acero	3
14. Metales no ferrosos	3
15. Productos metálicos fabricados, excepto maquinaria y equipos	4
16. Maquinaria y equipos, n.c.p.	5
17. Maquinaria de oficina, contabilidad e informática	6
18. Maquinaria y aparatos eléctricos, n.c.p.	5
19. Equipos de radio, televisión y comunicación	6
20. Instrumentos médicos, de precisión y ópticos	6
21. Vehículos automotores, remolques y semirremolques	4
22. Construcción y reparación de buques y embarcaciones	2
23. Aeronaves y naves espaciales	2
24. Equipos de ferrocarriles y de transporte, n.c.p.	2
25. Manufactura, n.c.p., reciclado (incluso mobiliario)	2
26. Generación, recolección y distribución de electricidad	1
27. Fabricación de gas, distribución de combustibles gaseosos por tuberías	1
28. Suministro de vapor y agua caliente	1
29. Recolección, depuración y distribución de agua	3
30. Construcción	2
31. Comercio al por mayor y al por menor, reparaciones	7
32. Hoteles y restaurantes	7
33. Transporte terrestre y por tuberías	7
34. Transporte acuático	7
35. Transporte aéreo	7
36. Actividades de transporte complementarias y auxiliares, actividades de agencias de viajes	7
37. Correo y telecomunicaciones	7
38. Finanzas y seguros	7
39. Actividades inmobiliarias	7
40. Alquiler de maquinaria y equipos	7
41. Informática y actividades conexas	8
42. Investigación y desarrollo (I+D)	8
43. Otras actividades empresariales	8
44. Administración pública y defensa, planes de seguridad social de afiliación obligatoria	7
45. Educación	7
46. Servicios sociales y de salud	7
47. Otros servicios comunitarios, sociales y personales	7
48. Hogares privados con servicio doméstico, organizaciones y órganos extraterritoriales	7

Fuente: Adaptación de J. Hauknes y M. Knell, "Embodied knowledge and sectoral linkages: an input-output approach to the interaction of high- and low-tech industries", *Research Policy*, vol. 38, N° 3, Amsterdam, Elsevier, 2009.

Nota: OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.

n.c.p.: No clasificados en otra parte.

CUADRO A.2

Compatibilización de la Base de datos analítica sobre los gastos de las empresas en investigación y desarrollo (ANBERD) y la Encuesta de Innovación Tecnológica (PINTEC), clasificación sugerida

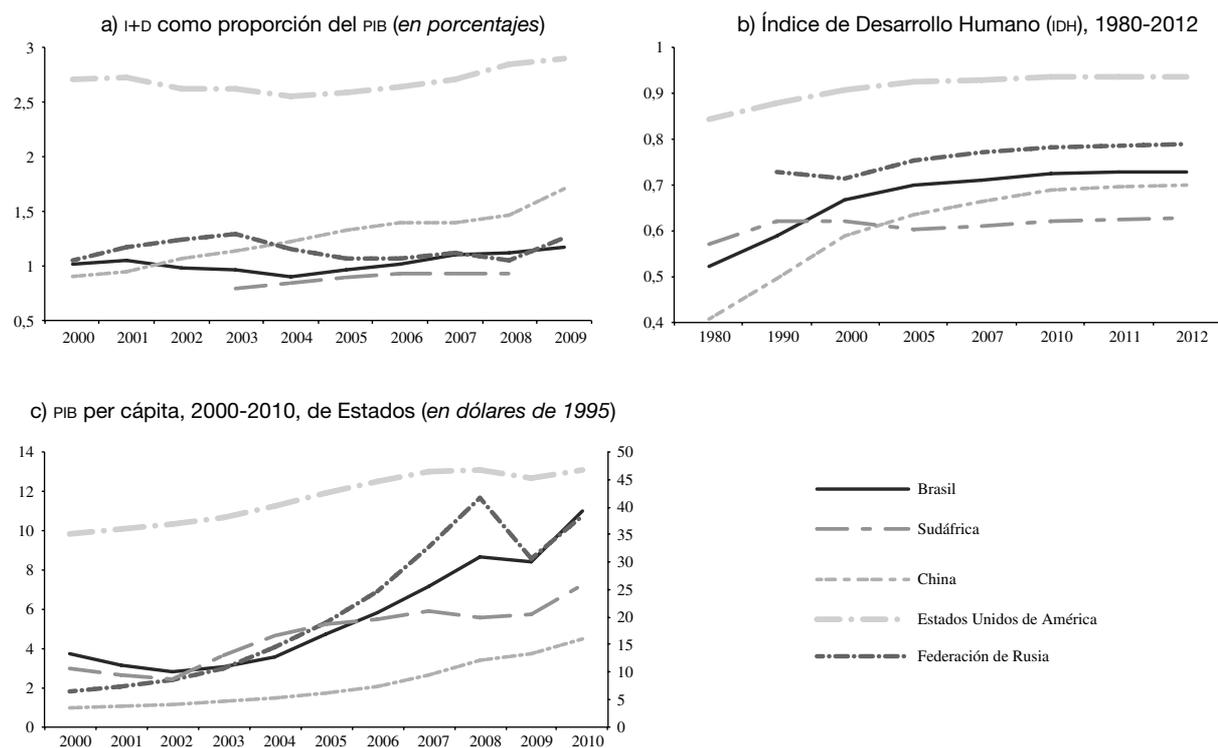
Clasificación (por sectores)	ANBERD	PINTEC (CNAE 1,0)
1. Energía	23, 40	23
2. Tradicionales	15-22, 36-37, 45	15-22, 36-37
3. Materiales	25-27, 41	25-27
4. Intensivos en economías de escala	24 (excepto 24,23), 28, 34-35	24 (excepto 24,5), 28, 34-35
5. Proveedores especializados	29, 31	29, 31
6. Basados en la ciencia	24,23, 30, 33	24,5, 30, 32, 33
7. Servicios	50-52, 55, 60-67, 70-71, 75-99	64
8. Servicios intensivos en conocimiento	72-74	72-74

Fuente: Elaboración propia.

Nota: CNAE: Clasificación Nacional de Actividades Económicas (versión 1,0). Los números bajo las columnas de ANBERD y PINTEC corresponden a la numeración que ocupan en dicha base y encuesta.

GRÁFICO A.1

Países seleccionados: datos descriptivos



Fuente: Elaboración propia.

Nota: En el panel (c), los valores correspondientes a los Estados Unidos de América están en el eje secundario y todos los valores están expresados en miles de dólares, a precios constantes deflactados por el deflactor implícito del PIB estadounidense.

I+D: Investigación y desarrollo; PIB: Producto interno bruto.

CUADRO A.3

Países seleccionados: proporción de cada sector en la producción bruta, importaciones como porcentaje de la producción bruta total e importaciones como porcentaje de la producción bruta por sector
(En porcentajes)

	Brasil			Federación de Rusia		
	Proporción de producción bruta	Importaciones/ producción bruta total	Importaciones/ producción bruta del sector	Proporción de producción bruta	Importaciones/ producción bruta total	Importaciones/ producción bruta del sector
1. Energía	9,4	1,0	10,2	12,0	0,5	4,1
2. Tradicionales	21,2	0,5	2,3	25,0	4,2	16,9
3. Materiales	5,8	0,5	8,3	8,8	1,0	11,7
4. Intensivos en economías de escala	9,8	1,4	13,8	3,0	0,8	26,7
5. Proveedores especializados	3,1	0,7	20,8	9,4	3,1	32,9
6. Basados en la ciencia	3,2	1,0	32,1	0,3	0,1	26,7
7. Servicios	43,8	0,9	2,1	39,7	1,0	2,6
8. Servicios intensivos en conocimiento	3,7	0,3	7,5	1,8	0,1	5,4

	China			Sudáfrica		
	Proporción de producción bruta	Importaciones/ producción bruta total	Importaciones/ producción bruta del sector	Proporción de producción bruta	Importaciones/ producción bruta total	Importaciones/ producción bruta del sector
1. Energía	8,3	0,6	7,5	10,8	1,5	14,2
2. Tradicionales	33,0	1,2	3,6	17,7	1,5	8,5
3. Materiales	11,2	0,9	7,9	14,5	3,6	25,2
4. Intensivos en economías de escala	11,1	1,3	11,8	6,4	2,3	36,2
5. Proveedores especializados	10,2	1,9	18,4	1,1	0,3	26,7
6. Basados en la ciencia	5,0	0,9	17,2	1,3	1,0	74,3
7. Servicios	17,5	0,2	1,3	44,3	1,1	2,5
8. Servicios intensivos en conocimiento	3,7	0,0	0,0	3,9	0,3	7,4

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Cálculos basados en las matrices de insumo-producto. La proporción de la producción bruta representa la producción bruta de cada sector dividida por la suma de la producción bruta de todos los sectores. La razón de las importaciones con respecto a la producción bruta total son las importaciones del sector divididas por la suma de la producción bruta de todos los sectores. La razón de las importaciones con respecto a la producción bruta del sector son las importaciones del sector divididas por la producción bruta del sector.

Bibliografía

- ANBERD (Base de datos analítica sobre los gastos de las empresas en investigación y desarrollo) (2011) [en línea] <http://www.oecd.org/sti/anberd>.
- Armijo, L.E. (2007), "The BRICS countries (Brazil, Russia, India and China) as analytical category: mirage or insight?", *Asian Perspective*, vol. 31, N° 4.
- Bell, M. y K. Pavitt (1993), "Technological accumulation and industrial growth: contrasts between developed and developing countries", *Corporate Change*, vol. 2, Oxford, Oxford University Press.
- Breschi, S. y F. Lissoni (2001), "Knowledge spillovers and local innovation systems: a critical survey", *Industrial and Corporate Change*, vol. 10, N° 4, Oxford University Press.
- Cassiolato, J.E. y V. Vitorino (eds.) (2011), *BRICS and Development Alternatives: Innovation Systems and Policies*, Londres, Anthem Press.
- Cassiolato, J.E. y H.M.M. Lastres (2011), "Science, technology and innovation policies in the BRICS countries: an introduction", *BRICS and Development Alternatives: Innovation Systems and Policies*, J.E. Cassiolato y V. Vitorino (eds.), Londres, Anthem Press.
- Fransman, M. (1985), "Conceptualising technical change in the third world in the 1980s: an interpretive survey", *Journal of Development Studies*, vol. 21, N° 4, Taylor & Francis.
- Fu, X., C. Pietrobelli y L. Soete (2011), "The role of foreign technology and indigenous innovation in the emerging economies: technological change and catching-up", *World Development*, vol. 39, N° 7, Amsterdam, Elsevier.
- Gokhberg, L. y otros (2011), "Prospective agenda for science and technology and innovation policies in Russia", *BRICS and Development Alternatives: Innovation Systems and Policies*, J.E. Cassiolato y V. Vitorino (eds.), Londres, Anthem Press.
- Griliches, Z. (1979), "Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth", *Bell Journal of Economics*, vol. 10, N° 1, The RAND Corporation.
- Guilhoto, J.J.M., M. Sonis y G.J.D. Hewings (2005), "Linkages and multipliers in a multiregional framework: integration of alternative approaches", *Australasian Journal of Regional Studies*, vol. 11, N° 1.
- Hauknes, J. y M. Knell (2009), "Embodied knowledge and sectoral linkages: an input-output approach to the interaction of high- and low-tech industries", *Research Policy*, vol. 38, N° 3, Amsterdam, Elsevier.

- Hirschman, A.D. (1959), *The Strategy of Economic Development*, New Haven, Yale University Press.
- Koeller, P. y J.E. Cassiolato (2011), "Achievements and shortcomings of Brazil's innovation policies", *BRICS and Development Alternatives: Innovation Systems and Policies*, J.E. Cassiolato y V. Vitorino (eds.), Londres, Anthem Press.
- Kruss, G. y J. Lorentzen (2011), "The South African innovation policies: potential and constraint", *BRICS and Development Alternatives: Innovation Systems and Policies*, J.E. Cassiolato y V. Vitorino (eds.), Londres, Anthem Press.
- Li, X. (2011), "Sources of external technology, absorptive capacity, and innovation capability in Chinese state-owned high-tech enterprises", *World Development*, vol. 39, N° 7, Amsterdam, Elsevier.
- Liu, X. y J. Liu (2011), "Science and technology and innovation policy in China", *BRICS and Development Alternatives: Innovation Systems and Policies*, J.E. Cassiolato y V. Vitorino (eds.), Londres, Anthem Press.
- Lundvall, B.A. (2011), "The BRICS countries and Europe", *BRICS and Development Alternatives. Innovation Systems and Policies*, J.E. Cassiolato y V. Vitorino (eds.), Londres, Anthem Press.
- (1992), *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, Londres, Pinter Publishers.
- Macdissi, C. y S. Negassi (2002), "International R&D spillovers: an empirical study", *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 11, N° 2, Taylor & Francis.
- Malerba, F. (2004), *Sectoral Systems of Innovation: Concepts, Issues and Analyses of Six Major Sectors in Europe*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Mansfield, E. (1971), *Technological Change. An Introduction to a Vital Area of Modern Economics*, Nueva York, W.W. Norton & Company, Inc.
- Miller, R.E. y P.D. Blair (2009), *Input-output Analysis: Foundations and Extensions*, Nueva York, Cambridge University Press.
- Naudé, W., A. Szirmai y A. Lavopa (2013), "Industrialization lessons from BRICS: a comparative analysis", *IZA Discussion Paper*, N° 7543, Bonn, Institute for the Study of Labour (IZA).
- Nelson, R.R. y S.G. Winter (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge, Massachusetts, Belknap Press.
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) (2008), "Compendium of Patent Statistics 2008" [en línea] <http://www.oecd.org>.
- ONUDI (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial) (2012), *Structural Change, Poverty Reduction and Industrial Policy in the BRICS*, Viena.
- Papaconstantinou, G., N. Sakurai y A. Wyckoff (1998), "Domestic and international product-embodied R&D diffusion", *Research Policy*, vol. 27, N° 3, Amsterdam, Elsevier.
- Pavitt, K. (1984), "Sectoral patterns of technological change: towards a taxonomy and a theory", *Research Policy*, vol. 13, N° 6, Amsterdam, Elsevier.
- PINTEC (Pesquisa Industrial de Inovação Tecnológica) (2011), "Pesquisa Industrial de Inovação Tecnológica" [en línea] <http://www.ibge.gov.br>.
- Ranis, G. (1984), "Determinants and consequences of indigenous technological activity", *Technological Capability in the Third World*, M. Fransman y M.K. King (eds.), Hong Kong, Macmillan.
- REDESIST (Rede de Pesquisa em Sistemas e Arranjos Produtivos e Inovativos Locais) (2011), "Comparative and Summary Report on BRICS National Innovation Systems" [en línea] <http://www.ie.ufrj.br/redesist>.
- Robson, M., J. Townsend y K. Pavitt (1988), "Sectoral patterns of production and use of innovations in the UK: 1945-1983", *Research Policy*, vol. 17, N° 1, Amsterdam, Elsevier.
- Romer, P. (1990), "Endogenous technological change", *Journal of Political Economy*, vol. 98, N° 5, Chicago, University of Chicago Press.
- Rosenberg, N. (1982), *Inside the Black Box: Technology and Economics*, Cambridge, Cambridge University Press.
- (1976), *Perspectives on Technology*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Sakurai, N., G. Papaconstantinou y E. Ioannidis (1997), "Impact of R&D and technology diffusion on productivity growth: empirical evidence for 10 OECD countries", *Economic Systems Research*, vol. 9, N° 1, Taylor & Francis.
- Scherer, F.M. (1982), "Inter-industry technology flows in the United States", *Research Policy*, vol. 11, N° 4, Amsterdam, Elsevier.
- Schmookler, J. (1966), *Invention and Economic Growth*, Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press.
- Terleckyj, N. (1974), *Effects of R&D on the Productivity Growth of Industries: an Exploratory Study*, Washington, D.C., National Planning Association.
- Van Dijk, M. y A. Szirmai (2006), "Industrial policy and technological diffusion: evidence from paper making machinery in Indonesia", *World Development*, vol. 34, N° 12, Amsterdam, Elsevier.
- Van Meijl, H. (1997), "Measuring intersectoral spillovers: French evidence", *Economic Systems Research*, vol. 9, Taylor & Francis.
- Verspagen, B. (1997), "Measuring intersectoral technology spillovers: estimates from the European and US Patent Office databases", *Economic Systems Research*, vol. 9, N° 1, Taylor & Francis.
- Viotti, E.B. (2002), "National learning systems: a new approach on technological change in late industrializing economies and evidences from the cases of Brazil and South Korea", *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 69, N° 7, Amsterdam, Elsevier.
- Vuori, S. (1997), "Interindustry technology flows and productivity in Finnish manufacturing", *Economic Systems Research*, vol. 9, N° 1, Taylor & Francis.
- Wolff, E. (1997), "Spillovers, linkages and technical change", *Economic Systems Research*, vol. 9, N° 1, Taylor & Francis.
- Wolff, E. y M.I. Nadiri (1993), "Spillover effects, linkage structure, and research and development", *Structural Change and Economic Dynamics*, vol. 4, N° 2, Amsterdam, Elsevier.