

LAS REDES ECONÓMICAS EN AMÉRICA DEL NORTE COMO VEHÍCULOS DE DIFUSIÓN DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

*Fidel Aroche Reyes
Marco Antonio Marquez Mendoza*

Este trabajo tiene como objetivo analizar la capacidad de difusión de la innovación tecnológica en la economía de América del Norte, entendida como un espacio económico único. La perspectiva metodológica empleada analiza la economía como una red económica, definida por el conjunto de ramas o sectores productivos y sus relaciones de intercambio de insumos intermedios. La densidad y complejidad de esta red es un vehículo para la propagación de las innovaciones y el cambio tecnológico. Entonces, el análisis de la red y el lugar que ocupan las ramas —clasificadas por su nivel tecnológico— tiene como resultado la posibilidad de transmisión de la innovación desde las ramas de alta tecnología hacia el resto. Se ha empleado la metodología del modelo insumo-producto (IP) para analizar la red económica norteamericana y las posibilidades de difusión de la innovación en esta estructura.

En América del Norte, la economía más grande y desarrollada es la de Estados Unidos, país donde además se registra un mayor número de innovaciones y patentes, comparado con sus socios comerciales, que se encuentran altamente integrados a aquella economía. De este modo, puede esperarse que la difusión de la innovación en el bloque norteamericano siga patrones muy similares a los registrados en Estados Unidos, de la misma manera que la estructura económica de América del Norte reproduce en gran medida el patrón estructural de aquel país.

En esta investigación se ha tomado como marco metodológico y teórico el modelo IP. De este modo, la innovación y el cambio técnico en un sector de la economía implican cambios en los coeficientes en una columna en la matriz A o en los coeficientes de empleo de los insumos primarios (trabajo y capital); ello significa también que cambia la manera en que los sectores se relacionan entre sí, por lo cual cambia ipso facto la estructura de la economía (Aroche, 2006; Sonis y Hewings, 2009). El estudio de la innovación y del cambio técnico se realiza por medio de ejercicios de estática comparada (por ejemplo Sakurai, Papaconstantinou e Ioannidis, 1997), o bien de simulación (por ejemplo, Carter, 1990; Sonis y Hewings, 1989). Hay también trabajos donde se combinan los datos IP con ejercicios econométricos (por ejemplo Wolff, 1997). No obstante, es bien sabido que los coeficientes técnicos en una tabla IP pueden cambiar por diversos factores, además del cambio técnico, a saber, por un cambio en la mezcla de productos o actividades incluidas en una rama, por el cambio en el grado de utilización de la capacidad instalada en las ramas, por cam-

bios en los precios relativos, por cambios en las metodologías de construcción de las tablas, o bien, por errores estadísticos (Fontela y Pulido, 1991; Vaccara, 1970).

El análisis de las redes construye sus explicaciones a partir de los patrones de conexiones entre los agentes, que constituyen redes con determinadas estructuras (Burt, 2000; Emirbayer y Goodwin, 1994). La red de relaciones entre los individuos es un recurso que facilita la cooperación entre aquéllos, a partir de la forma que adopte la red en particular y para cada individuo, las relaciones que sostenga con otros agentes, es decir, su posición en la red. El conjunto de relaciones entre estos agentes define la estructura y la red.

Presumiblemente, si los agentes en cuestión son agentes económicos que mantienen relaciones económicas entre sí, podría definirse una red económica. En la perspectiva del modelo IP, los agentes son las ramas (actividades) económicas que se relacionan entre sí por medio de intercambios de bienes, a la vez producidos y demandados por el conjunto de actividades para producir cada una, un producto. Se constituye así una red económica en el ámbito del modelo IP. Éste no tiene en cuenta explícitamente la dimensión espacial, pero un cuadro IP se refiere siempre a un espacio geográfico específico, como un país o una región (estado, provincia, ciudad) (Astori, 1997; Miller y Blair, 2009). Este concepto de red no es ajeno al de estructura económica, definida como un conjunto de productores interdependientes (actividades o ramas) de productos homogéneos, enlazados por medio de un conjunto de flujos de demanda intermedia, que definen el carácter de la estructura económica en su conjunto (Aroche, 1996).

La estructura de la economía está también determinada por la tecnología de la producción. En el equilibrio, mientras los precios no se modifiquen, la red tiene una determinada estructura; en el largo plazo, los cambios que ocurran a la forma que adopta esta estructura están determinados por los cambios tecnológicos dentro de cada rama, pero la trayectoria de éstos debe considerar el punto de partida, la estructura inicial, y difícilmente en economía, el cambio estructural implicará una ruptura radical porque las tecnologías casi siempre se modifican lentamente.

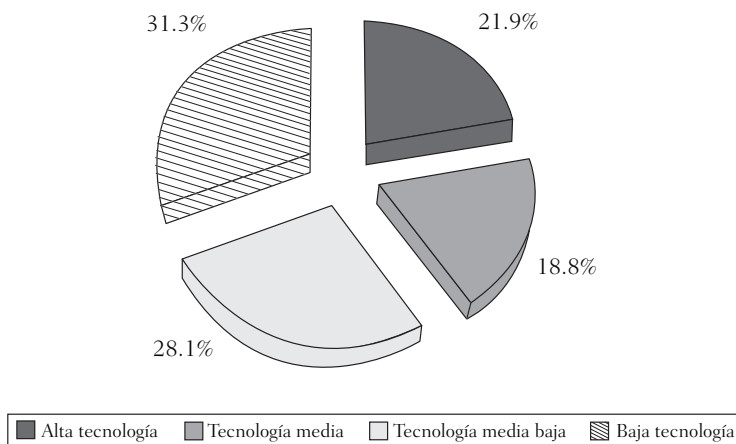
Es común que en el análisis multisectorial las ramas se clasifiquen por el grado de elaboración de los productos; por ejemplo, en los sistemas de cuentas nacionales aparecen antes las actividades extractivas, seguidas de las industrias —la manufactura, la construcción, la electricidad— y por último, los servicios (por ejemplo, INEGI, EUROSTAT). Además, las ramas a veces se clasifican por su intensidad tecnológica (OCDE, EUROSTAT), lo que permite realizar análisis diferenciados entre ellas. En el marco del modelo IP se encuentran trabajos que, a partir de esta clasificación, proponen realizar análisis que dividen los cuadros IP por grupos de sectores, desarrollando técnicas que originalmente se hicieron en el análisis multirregional (García *et al.*, 2007; Isard, 1951; Miller y Blair, 2009; Miyazawa, 1971; Sonis y Hewings, 1993). Aquí hemos identificado cuatro grupos de ramas siguiendo esta clasificación de la OCDE y EUROSTAT, según la intensidad tecnológica: ramas de baja tecnología (G1), ramas de tecnología media baja (G2), ramas de tecnología media alta (G3) y ramas de tecnología alta (G4). La clasificación de las ramas se muestra en el cuadro 1. Un supuesto central en la construcción del modelo que presentamos es que las ramas de alta tec-

nología generan innovaciones que se propagan al resto y estimulan la innovación en otros grupos. Aquí empleamos un modelo similar al de Miyazawa (1971) y revisado por Sonis y Hewings (1993) y por García *et al.* (2007); el modelo se presenta en el anexo al final de este capítulo.

CUADRO 1
CLASIFICACIÓN SECTORIAL POR NIVEL TECNOLÓGICO EMPLEADO

<i>Sector</i>	<i>Nivel tecnológico</i>
Agricultura, caza, pesca y forestal	Bajo
Minería (incluye canteras)	Bajo
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	Bajo
Textiles, productos textiles, cuero y calzado	Bajo
Madera y productos de madera y corcho	Bajo
Pulpa, productos de papel, imprenta y publicaciones	Bajo
Coque, productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear	Medio bajo
Químicos (excepto farmacéuticos)	Alto
Farmacéuticos	Alto
Productos de hule y plástico	Medio
Productos de otros minerales no metálicos	Medio
Hierro y acero	Medio bajo
Metales no ferrosos	Medio bajo
Productos metálicos (excepto maquinaria y equipo)	Medio bajo
Maquinaria y equipo	Medio bajo
Equipo de oficina y aparatos eléctricos	Alto
Equipo de radio, televisión y comunicación	Alto
Otras manufacturas e instrumentos médicos	Alto
Vehículos de motor, embarcaciones, aviación, aeroespacial y equipo ferroviario	Alto
Electricidad y suministro de agua	Medio
Construcción	Medio bajo
Comercio al por mayor, al detalle y reparaciones	Bajo
Hoteles y restaurantes	Bajo
Transporte y almacenes	Medio bajo
Correo y comunicaciones	Medio bajo
Finanzas y seguros	Medio
Actividades inmobiliarias	Bajo
Alquiler, maquinaria, cómputo, investigación, administración pública y hogares	Alto
Otras actividades de negocios	Medio bajo
Educación	Medio
Salud y trabajo social	Medio
Otros servicios comunitarios sociales y personales	Bajo

GRÁFICA 1
COMPOSICIÓN SECTORIAL POR GRUPOS DE NIVELES TECNOLÓGICOS



FUENTE: Elaborado con datos de la OCDE, 2002.

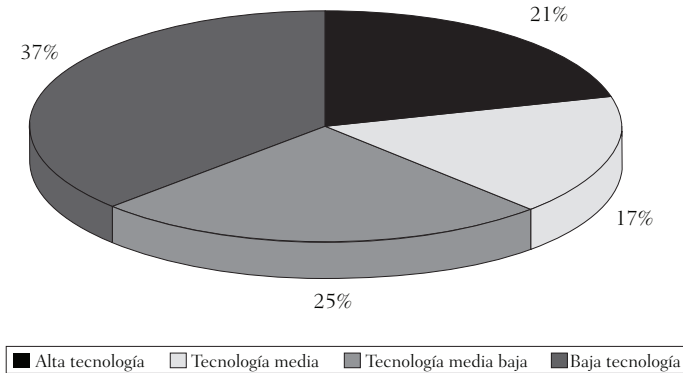
La red económica de Norteamérica y la innovación

En este trabajo se ha analizado la matriz de transacciones totales para América del Norte (que incluye los intercambios internos y las importaciones) de 1997 desagregada a treinta y dos sectores; además, se ha hecho un reordenamiento de los sectores de acuerdo con el nivel tecnológico que emplean en su producción, según el criterio de la OCDE. Como se ha apuntado, el cuadro 1 muestra la lista de sectores clasificados en cuatro grupos, de acuerdo con el nivel tecnológico: bajo, medio bajo, medio y alta tecnología. La gráfica 1 resume la participación sectorial según los niveles tecnológicos; los grupos de baja tecnología y media baja reúnen casi el 60 por ciento de los sectores, mientras que el grupo de tecnología media es el menor.

La gráfica 2 muestra que el grupo de baja tecnología participa en mayor proporción en la generación del producto bruto, seguido por los grupos de tecnología media baja y de alta tecnología, mientras que en el caso del grupo de uso de tecnología media tiene la menor participación.

Existen diversos métodos para analizar la complejidad de una estructura económica y su capacidad de transmitir, por ejemplo impulsos a la innovación; uno de ellos consiste en encontrar los coeficientes importantes (CI); el cuadro 2 muestra el número de CI para cada grupo de sectores por intensidad tecnológica para las matrices de propagación interna, externa y total, así como la partición de la matriz de CI de los efectos totales de inducción directa para cada grupo. Los coeficientes técnicos en la matriz A del modelo IP muestran las relaciones directas entre dos

GRÁFICA 2
COMPOSICIÓN DEL VBP EN AMÉRICA DEL NORTE
POR NIVEL TECNOLÓGICO EN SECTORES



FUENTE: Elaborado con datos de la OCDE, 2002.

ramas, y los CI son aquellos que implican al mismo tiempo una mayor cantidad de relaciones indirectas entre esas mismas dos ramas; por ejemplo, la producción agrícola demanda fertilizantes de la rama química de manera directa y al mismo tiempo demanda productos de plástico para envases, que a su vez demandan químicos para su producción. Así, el número y la ubicación de los CI son indicadores de la complejidad de la estructura productiva y de la complejidad de la red que comprende a una rama en particular.¹

El modelo empleado en este trabajo supone que cada rama transmite influencia directa a aquellas ramas que demandan insumos, es decir, la influencia adquiere el sentido de la demanda y, al mismo tiempo, los efectos de propagación de la influencia pueden ocurrir al interior del grupo tecnológico al que pertenece la rama (propagación interna) o pueden ocurrir fuera de ese grupo (propagación externa), y la combinación de ambas se denomina propagación total. El modelo descompone también, entonces, los coeficientes de sensibilidad entre los efectos directos e indirectos por grupo de ramas, de manera análoga a la partición inicial (véase anexo).

El grupo de baja tecnología está formado por diez sectores y contiene treinta y seis CI totales, de los cuales dieciocho generan influencia dentro del mismo grupo; enseguida, la mayor influencia transmitida hacia fuera se concentra sobre el sector de tecnología media (con once CI). El sector de productos alimenticios, bebidas y tabaco es el que muestra la mayor cantidad de CI (cuatro), mientras que la menor se asocia con los sectores de minería (uno) y de actividades inmobiliarias (uno). Como se observa, el sector de otros servicios comunitarios, sociales y personales

¹ Una definición formal de los CI se encuentra en Shinkte y Stänglin, 1988.

no presenta CI. En una palabra, el grupo de sectores de tecnología baja está constituido básicamente por actividades extractivas y manufacturas tradicionales; aparece como un sector poco articulado hacia el resto de la estructura productiva y en todo caso, lo hace preferentemente hacia los sectores de tecnología media baja. Entonces, las actividades clasificadas en este grupo tendrán escasa capacidad de generar impulsos hacia la innovación.

El grupo de tecnología media baja genera influencias hacia el resto del aparato productivo por medio de treinta y cuatro CI en total, de los cuales diecisiete son vínculos al interior del grupo, siete son hacia el grupo de baja tecnología, igualmente siete hacia el grupo de tecnología media y sólo tres son vínculos hacia el grupo de alta tecnología. En el grupo, los sectores más vinculados por medio de los CI son el de maquinaria y equipo y el de la construcción (con cuatro cada uno), mientras los menos vinculados son el de coque, productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear; el de hierro y acero; el de metales no ferrosos y el de otras actividades de negocios (con uno). Al igual que el grupo anterior, éste se vincula preferentemente hacia el interior y luego hacia los sectores de tecnología media, con una menor capacidad de transmitir influencias para la innovación hacia los sectores de alta tecnología.

CUADRO 2
NÚMERO DE COEFICIENTES IMPORTANTES SEGÚN GRUPO TECNOLÓGICO

Grupo de baja tecnología (G1)

<i>Sector</i>	<i>Interno</i>	<i>Externo</i>	<i>Total</i>	<i>Total</i>		
				<i>Grupo 2</i>	<i>Grupo 3</i>	<i>Grupo 4</i>
Agricultura, caza, pesca y forestal	3	1	2	0	0	1
Minería (incluye canteras)	1	1	1	0	1	0
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	4	4	4	1	3	0
Textiles, productos textiles, cuero y calzado	2	1	1	0	0	1
Madera y productos de madera y corcho	2	2	2	0	0	0
Pulpa, productos de papel, impresión y publicaciones	2	2	2	0	1	1
Comercio al por mayor, al detalle y reparaciones	3	2	3	2	3	1
Hoteles y restaurantes	2	2	2	0	1	0
Actividades inmobiliarias	1	1	1	0	1	0
Otros servicios comunitarios sociales y personales	0	0	0	0	1	0
Total	20	16	18	3	11	4

Grupo de tecnología media baja (G2)

<i>Sector</i>	<i>Interno</i>	<i>Externo</i>	<i>Total</i>	<i>Total</i>		
				<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 3</i>	<i>Grupo 4</i>
Coque, productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear	1	1	1	1	0	0
Hierro y acero	1	1	1	1	0	0
Metales no ferrosos	1	1	1	0	0	0
Productos metálicos (excepto maquinaria y equipo)	3	3	3	0	0	0
Maquinaria y equipo	4	4	4	0	1	1
Construcción	4	4	4	3	3	1
Transporte y almacenes	2	2	2	1	1	0
Correo y comunicaciones	0	0	0	0	1	1
Otras actividades de negocios	1	1	1	1	1	0
Total	17	17	17	7	7	3

Grupo de tecnología media (G3)

<i>Sector</i>	<i>Interno</i>	<i>Externo</i>	<i>Total</i>	<i>Total</i>		
				<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 2</i>	<i>Grupo 4</i>
Productos de hule y plástico	1	1	1	0	0	1
Productos de otros minerales no metálicos	1	1	1	0	0	0
Electricidad y suministro de agua	1	1	1	1	1	0
Finanzas y seguros	2	2	2	2	0	0
Educación	1	1	1	0	0	0
Salud y trabajo social	2	2	2	2	0	2
Total	8	8	8	5	1	3

Grupo de alta tecnología (G4)

<i>Sector</i>	<i>Interno</i>	<i>Externo</i>	<i>Total</i>	<i>Total</i>		
				<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 2</i>	<i>Grupo 3</i>
Químicos (excepto farmacéuticos)	1	1	1	1	0	3
Farmacéuticos	1	1	1	0	0	1
Equipo de oficina y aparatos eléctricos	3	3	3	0	2	0
Equipo de radio, televisión y comunicación	3	2	3	0	2	0

CUADRO 2
NÚMERO DE COEFICIENTES IMPORTANTES SEGÚN GRUPO TECNOLÓGICO
(continuación)

<i>Sector</i>	<i>Interno</i>	<i>Externo</i>	<i>Total</i>	<i>Total</i>		
				<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 2</i>	<i>Grupo 3</i>
Otras manufacturas e instrumentos médicos	1	1	1	2	3	2
Vehículos de motor, embarcaciones, aviación, aeroespacial y equipo ferroviario	3	3	3	2	4	4
Alquiler, maquinaria, cómputo, investigación, administración pública y hogares	2	2	3	0	0	1
Total	14	13	15	5	11	11

FUENTE: Elaborado con datos de la OCDE, 2002.

El grupo de tecnología media contiene solamente seis sectores; es el menor de los cuatro definidos aquí. En total, el grupo contiene diecisiete CI, por medio de los cuales transmite influencias preferentemente al interior del mismo grupo y hacia el grupo de tecnología baja. El sector de finanzas y seguros y el de salud y trabajo social contienen el número mayor de CI de propagación interna (dos); el resto de los integrantes al grupo sólo posee un CI. El grupo tiene diecisiete CI totales; la inducción directa mayor se encuentra sobre el mismo grupo y sobre el grupo de baja tecnología.

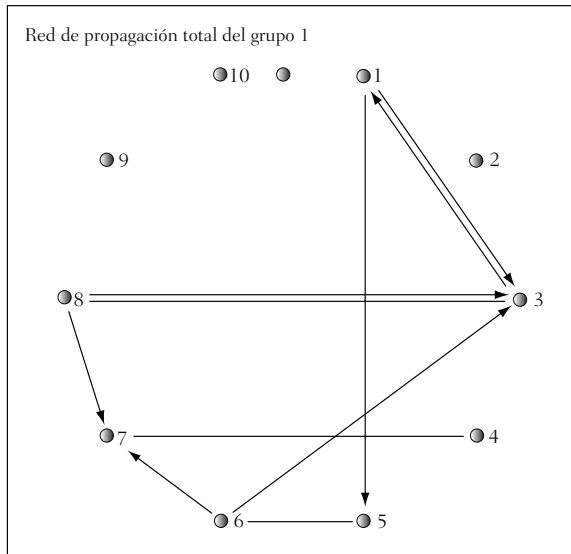
Finalmente está el grupo de alta tecnología, para el caso de los CI de propagación interna: los sectores de equipo de oficina y aparatos eléctricos, equipo de radio, televisión y comunicación, y vehículos de motor, embarcaciones, aviación, aeroespacial y equipo ferroviario; cada uno contiene tres, el cual es el número mayor. La propagación total es de cuarenta y dos CI, de los cuales quince se encuentran en el mismo grupo, mientras que los CI de efectos totales de inducción directa para los grupos de tecnología baja y media contienen once CI cada uno.

Es importante destacar que en la economía norteamericana hay una menor cantidad de CI de propagación de efectos externos que internos, lo cual indica que los efectos de la innovación son mayores al interior de los grupos; sin embargo, estos efectos aumentan al considerar el efecto de la innovación total en todo el sistema. Por otro lado, parecería que las ramas en el grupo de baja tecnología están más integradas entre sí y que este grupo tiene mayores efectos sobre el resto de la estructura, pero debe considerarse que este grupo es el mayor en términos del número de ramas constitutivas. Si consideramos el promedio de CI por cada tipo de propagación encontramos que el sector de alta tecnología tiene mayores resultados tanto para la propagación interna y externa (2 y 1.8), seguido por el grupo de baja tecnología (2 y 1.6),

después el de tecnología media baja (1.8 y 1.8) y finalmente el grupo de tecnología media (1.3 y 1.3). Entonces, es válido decir que las ramas del sector de alta tecnología son las que se encuentran más integradas y en esa medida, estas ramas propagarán la innovación con mayor fuerza al resto de los grupos de sectores.

Como se ve en el cuadro 2, las diferencias entre los CI para cada tipo de efectos de propagación: interna, externa y total en cada grupo de sectores, son en realidad bastante similares, por lo que los esquemas de propagación interna, externa y total son también muy parecidos. Por esta razón y para facilitar el análisis, sólo se han incluido los grafos que corresponden a las relaciones totales para cada grupo, para tener una imagen de la forma en que cada grupo de sectores se relaciona con el resto de la estructura productiva. El grafo 1 muestra la red de propagación total para el sector de baja tecnología; este grupo no articula a tres sectores: el sector 2 minería (incluye canteras), el 9 actividades inmobiliarias y el 10 otros servicios comu-

GRAFO 1



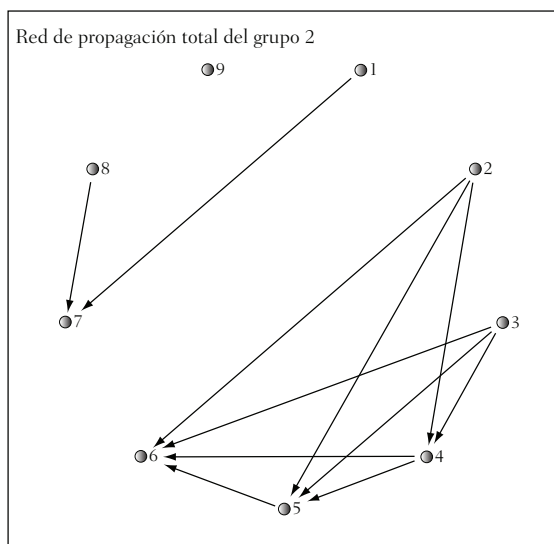
Número de sector	Nombre
1	Agricultura, caza, pesca y forestal
2	Minería (incluye canteras)
3	Productos alimenticios, bebidas y tabaco
4	Textiles, productos textiles, cuero y calzado
5	Madera y productos de madera y corcho
6	Pulpa, productos de papel, imprenta y publicaciones
7	Comercio al por mayor, al detalle y reparaciones
8	Hoteles y restaurantes
9	Actividades inmobiliarias
10	Otros servicios comunitarios sociales y personales

FUENTE: Elaborado con datos de la OCDE, 2002.

nitarios sociales y personales, que aparecen aislados. Por otro lado, el sector 7 comercio al por mayor, al detalle y reparaciones, es articulador de la red, pues si éste no estuviera, el 4 textiles, productos textiles, cuero y calzado quedaría también aislado. Como se muestra, tanto el sector 1 agricultura, caza, pesca y forestal con el 3 productos alimenticios, bebidas y tabaco, tienen relaciones recíprocas, caso que se repite en el 3 con el 8 hoteles y restaurantes, por lo que resulta ser un subgrupo muy sólido.

En el grafo 2 se muestra la red del grupo 2, de tecnología media baja, que parece estar constituido por dos subgrupos de sectores, mientras que el sector 9 otras actividades de negocios se encuentra aislado. El primer subgrupo está integrado por tres sectores: el 7 transporte y almacenes, que es el sector articulador entre el sector 1 coque, productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear y el 8 correo y comunicaciones; el segundo subgrupo articula a 5 miembros, bastante inte-

GRAFO 2



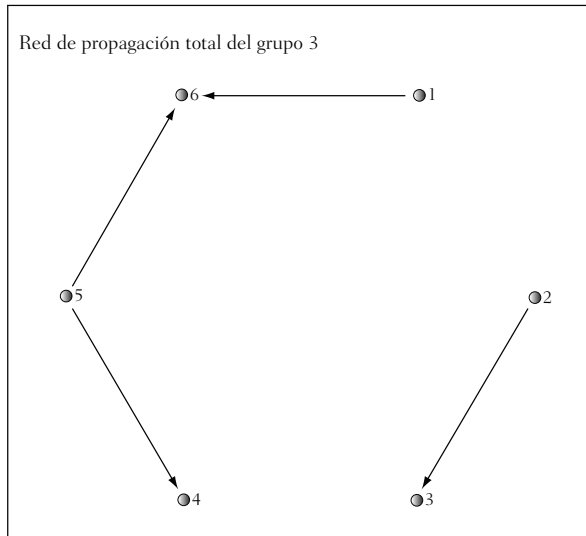
Número de sector	Nombre
1	Coque, productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear
2	Hierro y acero
3	Metales no ferrosos
4	Productos metálicos (excepto maquinaria y equipo)
5	Maquinaria y equipo
6	Construcción
7	Transporte y almacenes
8	Correo y comunicaciones
9	Otras actividades de negocios

FUENTE: Elaborado con datos de la OCDE, 2002.

grados entre sí, donde el sector 6 construcción es el mayor receptor de influencias, mientras que el sector 2 hierro y acero y el 3 metales no ferrosos son los que mayor influencia emiten dentro de la red.

El grafo 3 muestra la red para el grupo 3 de tecnología media; como se aprecia, éste también se encuentra dividido en dos subgrupos. El primero está integrado por cuatro sectores, donde el 5 educación y el sector 6 salud y trabajo social son sectores articuladores, pues su ausencia eliminaría la conexión en esta subred. Asimismo, se muestra que el sector 5 es el que genera impulsos mayores dentro de la red, mientras que el sector 6 es el que recibe mayores influencias. Para el caso del segundo subgrupo, el sector 2 productos de otros minerales no metálicos propaga influencias al sector 3 electricidad y suministro de agua.

GRAFO 3



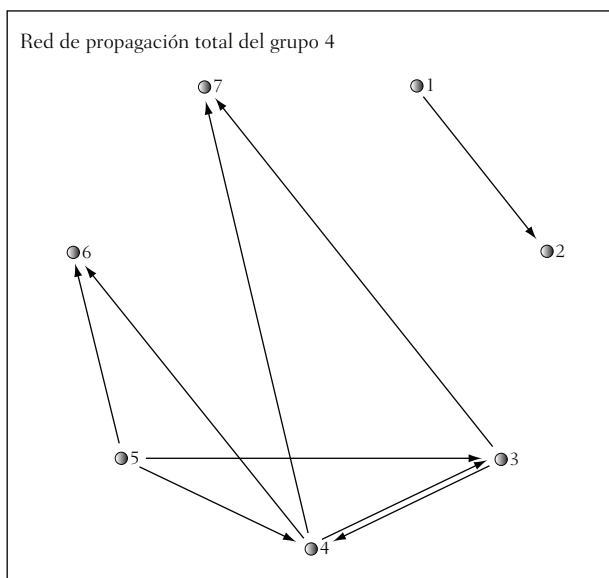
Número de sector	Nombre
1	Productos de hule y plástico
2	Productos de otros minerales no metálicos
3	Electricidad y suministro de agua
4	Finanzas y seguros
5	Educación
6	Salud y trabajo social

FUENTE: Elaborado con datos de la OCDE, 2002.

Finalmente, el grafo 4 muestra la red de propagación total para el grupo de alta tecnología, el cual es el más integrado y muestra mayores influencias dentro de la estructura de América del Norte, como se analizó con el cuadro de los CI para las diferentes propagaciones. Es importante destacar que todos los miembros de este

grupo tienen influencia al interior de cada sector. El grafo de este grupo, no obstante su mayor grado de integración en comparación con el resto, está constituido por dos componentes: el primero relaciona el sector de químicos (excepto farmacéuticos) y el de farmacéuticos. El segundo componente relaciona el resto de los sectores de alta tecnología entre sí, donde los sectores de equipo de oficina y aparatos eléctricos y de equipo de radio, televisión y telecomunicaciones articulan al conjunto del sector; son los únicos sectores en este grupo que tienen relaciones de influencia en ambos sentidos. A estos sectores se une el sector de otras manufacturas e instrumentos médicos, para formar un núcleo de innovación que se articula con los otros dos sectores: vehículos de motor, embarcaciones, equipo de aviación, aeroespacial y ferroviario, y alquiler, maquinaria, cómputo, investigación, administración pública y hogares, los cuales reciben influencia para innovar desde el núcleo. Hay que re-

GRAFO 4



Número de sector	Nombre
1	Químicos (excepto farmacéuticos)
2	Farmacéuticos
3	Equipo de oficina y aparatos eléctricos
4	Equipo de radio, televisión y comunicación
5	Otras manufacturas e instrumentos médicos
6	Vehículos de motor, embarcaciones, aviación, aeroespacial y equipo ferroviario
7	Alquiler, maquinaria, cómputo, investigación, administración pública y hogares

FUENTE: Elaborado con datos de la OCDE, 2002.

cordar también que éste es el grupo sectorial que ejerce la mayor influencia para propagar la innovación entre el resto de los grupos.

Conclusiones

Este documento ha analizado la manera en que se articulan las ramas económicas en América del Norte para difundir la innovación, empleando la perspectiva del análisis estructural que proporciona el modelo IP. Se han clasificado las ramas en cuatro grupos, en función de la complejidad de la tecnología que emplean en sus procesos productivos, de acuerdo con los criterios propuestos por la OCDE, y se han encontrado los esquemas de integración intersectorial en cada grupo, siguiendo las relaciones entre las ramas definidas por los llamados coeficientes importantes.

Los CI representan una conexión directa de demanda por insumos de una rama a otra (proveedora), que a su vez implica un mayor número de conexiones indirectas entre esas dos ramas o sectores, en la misma dirección de demanda que la conexión directa inicial. Un CI no es, por tanto, un coeficiente “mayor”, sino uno que indica una relación compleja entre las ramas. Sin importar el tamaño del coeficiente y el número de CI en cada grupo de ramas se ha tomado como un indicador de la complejidad de las relaciones entre las ramas que forman un grupo, así como de las relaciones entre las ramas de un grupo y el resto del aparato productivo.

Entonces, el análisis se ha centrado en la capacidad de propagación de las ramas siguiendo los flujos de demanda intermedia, es decir, se supone que un sector que demanda insumos a otro, ipso facto transmite influencia sobre el sector proveedor. Esta influencia en el modelo IP se cuantifica en la determinación del producto, ya que la demanda intermedia más la total determinan el nivel de producción de cada rama oferente. En este trabajo se ha reinterpretado esta influencia como la capacidad de cada sector de propagar innovaciones en el aparato productivo, en el sentido de que un sector innovador demandará insumos nuevos al resto de la economía, generando la necesidad en los sectores proveedores de innovar su oferta.

Los resultados apuntan que tanto el grupo de baja como el de alta tecnología son los principales responsables de la articulación del aparato productivo norteamericano y, en esa medida, son también los grupos que mayor capacidad tienen para propagar las innovaciones; sin embargo, las ramas en el sector de alta tecnología son las que de manera individual muestran la mayor capacidad de transmitir y propagar impulsos de la innovación. Asimismo, debe considerarse que los sectores de alta tecnología tienen mayor capacidad de crear innovaciones y no sólo de propagarlas, lo que los hace sectores fundamentales para que ocurra la innovación en este espacio económico.

ANEXO

Las ramas de alta tecnología y la estructura económica

A partir de la solución del Modelo IP (MIP):

$$x = (I - A)^{-1} f \quad (1)$$

donde A es la matriz de coeficientes técnicos, f es el vector de demanda final, la matriz $(I - A)^{-1}$ es también conocida como matriz de multiplicadores o matriz inversa de Leontief, cuyas entradas (α_{ij}) muestran las interrelaciones directas e indirectas entre dos ramas económicas i, j . Considerando los cuatro grupos de sectores definidos arriba, la matriz A de coeficientes puede particionarse de la siguiente forma:

$$A = \begin{pmatrix} P & P^1 & P^2 & P^3 \\ S^1 & S & S^2 & S^3 \\ R^1 & R^2 & R & R^3 \\ F^1 & F^2 & F^3 & F \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P & 0 & 0 & 0 \\ S^1 & 0 & 0 & 0 \\ R^1 & 0 & 0 & 0 \\ F^1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & P^1 & 0 & 0 \\ 0 & S & 0 & 0 \\ 0 & R^2 & 0 & 0 \\ 0 & F^2 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & P^2 & 0 \\ 0 & 0 & S^2 & 0 \\ 0 & 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & F^3 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & P^3 \\ 0 & 0 & 0 & S^3 \\ 0 & 0 & 0 & R^3 \\ 0 & 0 & 0 & F \end{pmatrix}$$

Sobre la diagonal principal de la matriz A particionada aparecen submatrices cuadradas de coeficientes de diferentes órdenes (P, S, R, F), definidos por el número de ramas integrantes en cada grupo de ramas y muestran las relaciones al interior de cada grupo. El resto de las entradas de la matriz A particionada son matrices rectangulares que corresponden a las relaciones existentes entre cada dos grupos, de modo que su orden se define por el número de ramas interrelacionadas. Así, por ejemplo, S^1 muestra los coeficientes técnicos directos del grupo G1 (P) sobre el grupo G2 (S), mientras que P^1 muestra los coeficientes directos del grupo G2 (S) sobre el grupo G1 (P). De este modo, al particionar la ecuación 1 se hace evidente la combinación de efectos intra e intergrupos. Asimismo, mediante esta partición se hacen evidentes las relaciones indirectas entre los grupos, así como los efectos de retroalimentación de las relaciones entre estos grupos.

Entonces, las matrices de multiplicadores internos a cada grupo de ramas quedan de la siguiente forma:²

$$B = (I - P)^{-1} \quad (2)$$

$$T = (I - S)^{-1} \quad (3)$$

$$Q = (I - R)^{-1} \quad (4)$$

$$C = (I - F)^{-1} \quad (5)$$

donde B, T, Q y C son matrices cuadradas y muestran la propagación de las actividades económicas dentro de cada grupo de sectores.

La propagación de las influencias intersectoriales se muestra por grupo de submatrices de multiplicadores. Para la partición elegida para este trabajo, encontramos 24 submatrices, definidas de la siguiente forma:

² Vale recordar que la matriz inversa de Leontief $(I - A)^{-1}$ es la matriz de multiplicadores.

Grupo 1	$B_1 = S^1 B$	$B_4 = BP^1$
	$B_2 = R^1 B$	$B_5 = BP^2$
	$B_3 = F^1 B$	$B_6 = BP^3$
Grupo 2	$T_1 = P^1 T$	$T_4 = TS^1$
	$T_2 = P^1 T$	$T_5 = TS^2$
	$T_3 = F^2 T$	$T_6 = TS^3$
Grupo 3	$Q_1 = P^1 Q$	$Q_4 = QR^1$
	$Q_2 = S^1 Q$	$Q_5 = QR^2$
	$Q_3 = F^1 Q$	$Q_6 = QR^3$
Grupo 4	$C_1 = P^3 C$	$C_4 = CF^1$
	$C_2 = S^3 C$	$C_5 = CF^2$
	$C_3 = R^3 C$	$C_6 = CF^3$

Para cada grupo de sectores se han ordenado dos columnas que se leen como sigue: sobre la columna izquierda están los multiplicadores inducidos en un grupo por la propagación interna del grupo en cuestión, por ejemplo B_1 muestra los multiplicadores inducidos en el grupo G2 por la propagación interna del grupo G1; es decir, en esta columna aparecen los efectos de inducción directos. Para el caso de la columna derecha tenemos los efectos de inducción indirectos; así, la lectura es la propagación del grupo de referencia inducida por los multiplicadores del grupo de referencia en otro grupo, por ejemplo, B_4 muestra la propagación del grupo G1 inducida por los multiplicadores del grupo G1 en el grupo G2; son los efectos de inducción indirectos.

Con este conjunto de submatrices puede calcularse el proceso de inducción de la interrelación intersectorial de un grupo hacia el resto de los sectores económicos por medio de las interrelaciones intersectoriales; sin embargo, dicha matriz no es única (Miyazawa, 1971), ya que el modelo puede resolverse bien mirando los efectos de inducción directos, bien indirectos o con una combinación de ambos. Si consideramos los efectos de inducción directos, la matriz de multiplicadores externos para cada grupo se halla de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 \text{Grupo 1} \quad G &= (I - T_1 Q_2 C_3 B_3)^{-1} & (6) \\
 \text{Grupo 2} \quad K &= (I - B_1 Q_1 C_3 B_3)^{-1} & (7) \\
 \text{Grupo 3} \quad L &= (I - B_2 Q_1 C_2 B_3)^{-1} & (8) \\
 \text{Grupo 4} \quad M &= (I - B_2 Q_1 C_2 B_3)^{-1} & (9)
 \end{aligned}$$

Para llegar a calcular la propagación de los efectos totales, es necesario considerar la propagación de efectos dentro del propio grupo de sectores y aquellos que se exportan fuera del grupo; entonces, definimos para cada grupo de sectores la propagación total de la siguiente forma:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Grupo 1} & G^* B = N \\
 \text{Grupo 2} & K^* T = O \\
 \text{Grupo 3} & L^* Q = H \\
 \text{Grupo 4} & M^* C = V
 \end{array}$$

Entonces, la inversa de Leontief puede ser explicada desde cualquier grupo; por ejemplo, considerando a los grupos G2 y G4, la matriz de multiplicadores se expresa de la siguiente manera:

$$W = (I - A)^{-1} = \begin{pmatrix} B & BT_1 & BQ + BT_1Q_2 & B(C_1 + Q_1C_3) + BT_1(C_2 + Q_2C_3) \\ B_1 & B_1T_1 + O & B_1Q_1 + (B_1T_1 + O)Q_2 & B_1(C_1 + Q_1C_3) + (B_1T_1 + O)(C_2 + Q_2C_3) \\ B_2 & B_2T_1 + T_2 & B_2Q_1 + (B_2T_1 + T_2)Q_2 + Q & B_2(C_1 + Q_1C_3) + (B_2T_1 + T_2)(C_2 + Q_2C_3) + QC_3 \\ B_3 & B_3T_1 + T_3 & B_3Q_1 + (B_3T_1 + T_3)Q_2 + Q_3 & B_3(C_1 + Q_1C_3) + (B_3T_1 + T_3)(C_2 + Q_2C_3) + Q_3C_3V \end{pmatrix}$$

En el MIP la innovación y el cambio tecnológico se miden a través de un cambio en el tamaño de un elemento de la matriz A y ello conlleva cambios en las entradas de la tabla de multiplicadores W , lo cual, al final se traduce en cambios también en el tamaño del producto x de al menos algún sector. Se espera, sin embargo, que no todos los cambios en las entradas de los coeficientes a_{ij} tengan efectos similares sobre las entradas del vector x ; se han definido como los coeficientes importantes (CI) aquellos cuya variación en una proporción uniforme provoquen mayores cambios en las entradas de x (Forsell, 1989). Los CI se encuentran allí donde las relaciones de intercambio de los insumos entre dos sectores (i y j) implican a un mayor número de relaciones indirectas entre otras ramas, a través de la conexión a_{ij} . De esta forma, un cambio en esta entrada involucra a un número grande de ramas y por lo tanto, modifica el producto de al menos un sector.

Los CI se detectan por medio del análisis de sensibilidad por medio de los límites de tolerancia (Shintke y Stäglin, 1988), que se definen:

$$r_{ij} = \frac{1}{a_{ij} \left[\alpha_{ji} + \left\{ \left(\alpha_{ij} / x_i \right) x_j \right\} \right]} \quad (10)$$

donde a_{ij} son elementos de la matriz A , α_{ij} son elementos de la matriz inversa de Leontief, x es el valor bruto de la producción. Esta fórmula supone la existencia de matrices cuadradas, como el cuadro IP no particionado y α_{ii} es el elemento correspondiente sobre la diagonal principal de la matriz de multiplicadores. Es posible encontrar los límites de tolerancia para los efectos de inducción internos a cada grupo de ramas, externos (es decir, aquellos que incluyen las intersectoriales de un grupo con las de otro) y totales, que es la suma de los dos anteriores. Definiendo una matriz de los límites de tolerancia totales, podemos encontrar los límites intersectoriales totales de inducción directa, que toman la forma de matrices rectan-

gulares que muestran el efecto de un sector de un grupo con el resto de los sectores de otros grupos.³ Los límites de tolerancia de propagación interna y externa para los grupos son los siguientes:

Límites de tolerancia para matrices de propagación interna:

$$r_{ij}^{1int} = \frac{1}{p_{ij} \left[\beta_{ji} + \left\{ \left(\beta_{ii} / x_i^1 \right) x_j^1 \right\} \right]} \quad (10)$$

$$r_{ij}^{2int} = \frac{1}{s_{ij} \left[\tau_{ji} + \left\{ \left(\tau_{ii} / x_i^2 \right) x_j^2 \right\} \right]} \quad (11)$$

$$r_{ij}^{3int} = \frac{1}{d_{ij} \left[\theta_{ji} + \left\{ \left(\theta_{ii} / x_i^3 \right) x_j^3 \right\} \right]} \quad (12)$$

$$r_{ij}^{4int} = \frac{1}{f_{ij} \left[\chi_{ji} + \left\{ \left(\chi_{ii} / x_i^4 \right) x_j^4 \right\} \right]} \quad (13)$$

Límites de tolerancia para matrices de propagación externa:

$$r_{ij}^{1ext} = \frac{1}{p_{ij} \left[\gamma_{ji} + \left\{ \left(\gamma_{ii} / x_i^1 \right) x_j^1 \right\} \right]} \quad (10)$$

$$r_{ij}^{2ext} = \frac{1}{s_{ij} \left[\kappa_{ji} + \left\{ \left(\kappa_{ii} / x_i^2 \right) x_j^2 \right\} \right]} \quad (11)$$

$$r_{ij}^{3ext} = \frac{1}{d_{ij} \left[\lambda_{ji} + \left\{ \left(\lambda_{ii} / x_i^3 \right) x_j^3 \right\} \right]} \quad (12)$$

$$r_{ij}^{4ext} = \frac{1}{f_{ij} \left[\mu_{ji} + \left\{ \left(\mu_{ii} / x_i^4 \right) x_j^4 \right\} \right]} \quad (13)$$

donde p_{ij} , s_{ij} , d_{ij} y f_{ij} son entradas de las matrices P , S , R y F definidas arriba; mientras que las matrices de propagación externa G , K , L y M contienen elementos γ_{ij} , κ_{ij} , λ_{ij} , y μ_{ij} respectivamente. A partir de la ecuación 10 con la matriz inversa de Leontief de multiplicadores y con la matriz A de coeficientes, se conforma una matriz R con elementos r_{ij} , de límites de tolerancia: una entrada para cada coeficiente a_{ij} , la cual puede ser particionada de la siguiente manera:

$$R = \begin{pmatrix} R_{11}^r & R_{12}^r & R_{13}^r & R_{14}^r \\ R_{21}^r & R_{22}^r & R_{23}^r & R_{24}^r \\ R_{31}^r & R_{32}^r & R_{33}^r & R_{34}^r \\ R_{41}^r & R_{42}^r & R_{43}^r & R_{44}^r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{11}^r & 0 & 0 & 0 \\ R_{21}^r & 0 & 0 & 0 \\ R_{31}^r & 0 & 0 & 0 \\ R_{41}^r & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & R_{12}^r & 0 & 0 \\ 0 & R_{22}^r & 0 & 0 \\ 0 & R_{32}^r & 0 & 0 \\ 0 & R_{42}^r & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & R_{13}^r & 0 \\ 0 & 0 & R_{23}^r & 0 \\ 0 & 0 & R_{33}^r & 0 \\ 0 & 0 & R_{43}^r & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & R_{14}^r \\ 0 & 0 & 0 & R_{24}^r \\ 0 & 0 & 0 & R_{34}^r \\ 0 & 0 & 0 & R_{44}^r \end{pmatrix}$$

³ Esto se debe a que las submatrices rectangulares de las ramas económicas ya no juegan un doble papel.

Así, podemos analizar los límites de tolerancia totales de inducción directa de un grupo sobre otro, por ejemplo RT_{21}^T muestra la inducción directa de cada miembro del grupo 1 sobre cada miembro del grupo 2.

Con el método de límites de tolerancia se determinará la tasa máxima de cambio de cada entrada a_{ij} , de modo que la producción por sector varíe en una proporción pequeña (1 por ciento) mientras que f es constante. Se establece que los CI son aquellos cuyos cambios inferiores al 20 por ciento provocan modificaciones en la producción sectorial superior al 1 por ciento.

Para analizar las redes de propagación de innovación diferenciada por niveles tecnológicos, se identifican los CI dentro de cada matriz de coeficientes de cada grupo, los cuales se igualan a uno, y el resto de los elementos, no importantes, se igualan a cero. De esta manera se construye una matriz de adyacencia para representar las conexiones existentes al cambio tecnológico.