

DIFUSIÓN DE LA INNOVACIÓN Y COMERCIO INTERNACIONAL: LA RELACIÓN ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Humberto Ríos Bolívar*

Omar Neme Castillo**

RESUMEN

Este trabajo analiza la relación de largo plazo entre innovación, difusión tecnológica y comercio internacional, basado en el modelo de especialización ricardiana de Eaton y Kortum (2007). En particular, se emplean técnicas de cointegración para estimar los determinantes de la tasa de investigadores en México, dentro de la relación comercial con Estados Unidos en el periodo 1980-2006, y establecer así la existencia de relaciones estables entre las variables consideradas. La tasa a la que se crean ideas en Estados Unidos es notablemente mayor que en la economía mexicana. No obstante, la productividad investigadora parece ser más alta en México, aunque con mucha menos efectividad para reducir costos. Considerando las diferencias

* Profesor de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Escuela Superior de Economía del Instituto Politécnico Nacional. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI II). Correo electrónico: <hrios@ipn.mx>.

** Profesor de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, ESE-IPN. Correo electrónico: <onemec0600@ipn.mx>.

en la tasa de creación de ideas entre ambas economías, que afecta a la tasa de investigadores, se argumenta que la economía mexicana se especializa en investigación dentro de sectores de tecnología baja y media.

Palabras clave: Innovación, difusión, comercio internacional, especialización, tasa de investigadores

Clasificación JEL: O31, F10

ABSTRACT

This paper analyses the long run relation among innovation, technological diffusion and international trade, based on the ricardian specialization model of Eaton y Kortum (2007). Particularly, we apply cointegration techniques for estimating the determinants of researchers' rate in Mexico inside the commercial relationship with United States in the period 1980-2006, and hence to establish the existence of stable relations among the considered variables. The rate at which ideas are created in United States is considerably higher than the rate in the Mexican economy. Nevertheless, researcher productivity seems higher in Mexico, although with less effectiveness for reducing costs. Considering differences in the rate of ideas' creation between both economies which, in turn, affects researchers' rate, we argue that Mexican economy specializes in researching inside the low and medium technology sectors.

Keywords: Innovation, diffusion, international trade, specialization, rate researchers

JEL classification: O31, F10

1. INTRODUCCIÓN

Para la teoría del comercio internacional, las firmas, industrias y países en general pueden crear ventajas competitivas específicas a través de la innovación, debido a la naturaleza acumulativa de la tecnología y a las nuevas

capacidades innovadoras. Así, la acumulación de innovaciones es vista como una explicación de las brechas tecnológicas y la difusión rezagada de las nuevas ideas como un elemento que permite cerrar los diferenciales tecnológicos.

Por tanto, los esfuerzos de una economía en I&D al igual que su stock de conocimientos, son factores determinantes de los niveles de productividad que pueda alcanzar. Al respecto, los esfuerzos en I&D no se desarrollan de forma aislada ya que, el conocimiento puede desbordarse desde otras firmas por medio de licencias o derechos, o en la forma de efectos de *spillover* a través de la imitación. Además, otras economías están inmersas en procesos de innovación y acumulación de conocimientos, y en la medida que las relaciones comerciales impliquen el intercambio de bienes y servicios e información e ideas, la productividad de una economía dependerá no sólo de su propio esfuerzo en I&D sino también del esfuerzo que realicen otras economías con las que esté relacionada económicamente y, en particular, con las que realice intercambios comerciales.

Pero, ¿qué características determinan los esfuerzos en I&D de una economía?, ¿cómo afecta el libre comercio a la innovación?, ¿los efectos de difusión impactan en estas actividades? Teóricamente, el comercio internacional es un canal mediante el cual las brechas tecnológicas entre los países pueden cerrarse gracias al intercambio de bienes o servicios que incorporan directa o indirectamente una mejora tecnológica. En otras palabras, el comercio internacional incentiva el intercambio de información, de conocimientos y de nuevas ideas aumentando la productividad y eficiencia en la creación o imitación de tecnologías (Coe y Helpman, 1995).

Al respecto, en los últimos años los avances en el conocimiento han aumentado las oportunidades para la innovación tecnológica destinada a los mercados nacionales y extranjeros. Debido a las características de cada país, particularmente a las ventajas comparativas y organización industrial, se crean incentivos que configuran diferentes patrones de especialización.

En este contexto, la relación comercial México-Estados Unidos de Norteamérica (EUA) tiende a configurarse de acuerdo a los señalamientos

ricardianos. Es decir, México disfruta una ventaja comparativa en sectores de tecnología media, exportando al mercado estadounidense productos principalmente dentro de esta categoría. Por el contrario, EUA mantiene una ventaja en la producción y exportación de bienes de sectores de tecnología alta. Aún más, los esfuerzos innovadores de cada país tienden a coincidir con esos patrones de especialización.

De esta manera, este trabajo analiza la relación entre innovación, difusión tecnológica y comercio internacional desde una perspectiva de series de tiempo, basado en el modelo de especialización ricardiana de Eaton y Kortum (2007). En particular, se analizan los determinantes de la tasa de investigadores en México dentro de la relación comercial con EUA en el periodo 1980-2006. Se asume que, entre mayor sea la proporción de investigadores en la economía, las capacidades de creación y adaptación de las nuevas tecnologías será mayor.

El resto del documento se organiza como sigue. La próxima sección revisa los principales aspectos del modelo teórico arriba señalado. La sección tres presenta algunos hechos estilizados de la tecnología y sus indicadores dentro de la relación comercial bilateral. En el apartado cuatro se especifica el modelo econométrico, usando técnicas de cointegración, que permite estimar los determinantes de la tasa de investigadores cuyos resultados se muestran en la sección cinco. Finalmente, se exponen las conclusiones.

2. UN MODELO DE TECNOLOGÍA Y COMERCIO

Existen dos perspectivas teóricas de la relación entre innovación y comercio internacional (Wakelin, 1998). Por un lado, los modelos neo-factoriales consideran que la especialización se basa en la dotación factorial de capital y trabajo y, recientemente, en capital humano y conocimiento; y, por otro, en los modelos basados en tecnología tales como el de la brecha tecnológica (Posner, 1961) o del ciclo del producto (Vernon, 1966). No obstante, a partir de los documentos seminales de Dornbusch, Fischer,

y Samuelson (1977) resurge la teoría del comercio internacional basada en las ventajas comparativas.¹

Como el comercio bilateral México-EUA ocurre por las diferencias tecnológicas entre esas economías, parece que un modelo natural para explicar el comportamiento de la innovación en estos países en el contexto de libre comercio es el de Eaton y Kortum (2002), que es una extensión del anterior.

Estos autores aplican las ideas ricardianas en un modelo con un continuo de bienes producidos con un índice definido como $j \in [0, 1]$, con rendimientos constantes a escala. La estructura de producción es ricardiana, lo que significa, entre otras cosas, que cada país produce los bienes para los que el salario relativo es menor que la productividad relativa, llevando a la especialización. De igual forma, los países tienen diferentes accesos a la tecnología y la eficiencia varía entre los bienes y las economías. El modelo considera dos países, EUA (E) y México (M). Cada uno tiene un conjunto de tecnologías disponibles para producir cada bien en el espacio continuo. Existe un grupo de tecnologías disponibles solamente para EUA (E) y otro exclusivo para México (M). Existe un tercer conjunto de tecnologías en común disponibles para ambos (C). Se define como tecnología a la capacidad para producir $z_i(j)$ unidades del bien j con un trabajador, donde, dependiendo del tipo de tecnología empleada, $i = E, M, C$; por ejemplo, $z_E(j)$ es la capacidad de producir j unidades por trabajador empleando la tecnología E .² La productividad del trabajo de cada bien se modela como la realización de la variable aleatoria Z_i que tiene la misma distribución, $F_i(z)$ para todos los bienes j en el país i . Z_i se distribuye Frechet con parámetros $T_i > 0$ y $q > 1$ si,

¹ Al respecto Dornbusch, Fischer y Samuelson (1977) son precursores dentro de la actual literatura del comercio internacional en emplear el modelo ricardiano, en un contexto donde se mantienen las características básicas pero sustituyen el supuesto de bienes finitos por el de un continuo de bienes bajo preferencias Cobb-Douglas.

² Por simplicidad se emplea i para indexar tanto los tres tipos de tecnología, $i = E, M, C$, como los dos países, $i = E, M$, respectivamente.

$$F_i(z; T_i; q) = \Pr[Z_i \leq z] = e^{-T_i z^{-\theta}} \quad (1)$$

que es independiente a través de $i=E, M, C$. En este contexto estático las T_i son específicas a cada país y determinan la ubicación de la distribución. T_i refleja las eficiencias promedio de los tres conjuntos de tecnologías. Una T_i grande desplaza la distribución a la derecha, lo que puede pensarse como un indicador de ventaja absoluta.³ Además, θ , el parámetro de ventaja comparativa, es común para todos los países y refleja la cantidad de variación dentro de la distribución, por lo que a mayor θ menor variabilidad.⁴

El modelo considera que esas distribuciones surgen de un proceso dinámico de innovación y difusión. Las mejores tecnologías disponibles en el país i son realizaciones de:

$$Z^*_i = \max[Z_i, Z_C]; i = E, M \quad (2)$$

con igual distribución que en (1). En el modelo existe independencia a través de las tecnologías exclusivas, es decir, entre M y E , pero las tecnologías en común (C) inducen una correlación positiva entre Z^*_E y Z^*_M . Por esta razón, se consideran las tres tecnologías independientes Z_E , Z_M y Z_C .

En cuanto al mercado de trabajo, se tiene L_E trabajadores en E y L_M en M . Como es común en los modelos ricardianos, los trabajadores son idénticos y con libre movilidad entre actividades dentro de un país, pero están restringidos entre países. El salario en E es W_E y en M es W_M . Se considera al salario en México como el numerario. Las condiciones para el vaciado del mercado laboral determinan el salario relativo. Sin pérdida de generalidad, se imponen

³ Véase a las T_i como el estado de la tecnología del país i , lo que refleja la ventaja absoluta del mismo.

⁴ Considérese θ como un parámetro que regula la heterogeneidad entre los bienes en las eficiencias relativas de los países.

restricciones en las variables exógenas de tal forma que en el equilibrio $W_E \geq W_M$, lo que cabe esperar que suceda en este estudio. Se asume que la estructura de demanda es Cobb-Douglas, la cual se simplifica suponiendo que los bienes en el continuo tienen la misma participación en el gasto. Por ende, el gasto en el país i en el bien j está dado por:⁵

$$X_i(j) = X_i \quad (3)$$

con X_i como el gasto total. Los bienes pueden transportarse entre los países, pero para entregar una unidad del país E en el destino M se necesita enviar $d_{ME} \geq 1$.⁶ Esto es, los costos de transporte son del tipo “iceberg”, en el que los bienes se derriten en el viaje por resistencias al comercio.

Hay tres posibles casos a considerar en equilibrio, dependiendo de los salarios relativos y las barreras al comercio: *i*) cuando $w_E > w_M d$, es decir, si el salario de producción en EUA es mayor al de México, multiplicado por los costos de transporte (d), entonces las tecnologías en común solamente son empleadas en México y, desde ahí, se exportan los bienes producidos con C ; mientras que EUA sólo emplea las tecnologías con acceso exclusivo para él. *ii*) si $w_E = w_M d$, entonces las tecnologías disponibles simultáneamente para E y M pueden utilizarse por ambos, pero los bienes producidos mediante estas tecnologías son exportados solamente por M . *iii*) si se cumple que $w_E < w_M d$, entonces ambos países usarán las tecnologías a disposición de los dos. Sin embargo, los bienes producidos usando estas tecnologías no son comerciados puesto que sería más caro importar los bienes que producirlos domésticamente.

⁵ Dornbusch, Fischer y Samuelson (1977), consideran a j como la proporción de bienes que tiene productividad menor que $z_i(j)$, que depende de la distancia, la productividad relativa doméstica y de la dispersión (θ).

⁶ Por esta razón, las resistencias al comercio de llevar un bien de i a i es $d_{ii} = 1$. Esto es, se puede interpretar a d_{ME} o d_{EM} como una medida de distancia. No hay ventajas de triangular, por lo que se elimina la ventaja de enviar productos a un tercer país y desde ahí re-exportarlos.

DISTRIBUCIÓN DE COSTOS

El costo de una unidad de insumo trabajo en el país i ($i = E, M$) es w_i , que requiere se embarquen $d_{ni} \geq 1$ unidades de un bien i para entregar una unidad en el país n . Al normalizar $d_{ii} = 1$, se tiene que el costo de entregar una unidad del bien j en n desde i , producido con tecnología i es:

$$c_{nii}(j) = \frac{w_i d_{ni}}{z_i(j)} \quad (4)$$

Para simplificar el modelo se introduce el término w_{ni} , el salario efectivo –incluye costos de transporte– para los bienes vendidos en el país n producidos con la tecnología i ; con $n = E, M$ e $i = E, M, C$. Considerando el mercado estadounidense, las tres posibles combinaciones de países y tecnologías son: i) $w_{EE} = w_E$, ii) $w_{EM} = w_M d$ y iii) $w_{EC} = \min\{w_M d; w_E\}$. Para ejemplificar, el último caso es el salario pagado al trabajo por producir bienes usando la tecnología en común y vendido en E (al incluir costos de transporte México debería ser el único usuario de esta tecnología). Por lo tanto, el costo de vender el bien j en E , si se produce por medio de la tecnología C , está dado por la expresión $w_{EC} = z_C(j)$. En contraste, al considerar el mercado mexicano se tiene $w_{MM} = w_{MC} = w_M$ y $w_{ME} = dw_E$. Así, el menor costo para obtener el bien j en el mercado n ($n = E, M$) utilizando la tecnología i es:

$$c_{ni}(j) = \min \left\{ c_{nEE}(j), c_{nEMC}(j), c_{nMM}(j) \right\}$$

$$c_{ni}(j) = \min \{ w_E / z_E(j), w_{EC} / z_E(j), w_M d / z_M(j) \} \quad (5)$$

$$c_{ni}(j) = \min_{i=E, M, C; n=E, M} \{ w_{Ei} / z_i(j) \}$$

Nótese que, para toda j , $d \geq c_M(j)/c_E(j) \geq (1/d)$, cumpliéndose la igualdad si E exporta a M –del lado izquierdo– o si M exporta a E –del lado derecho–. Además, para $i = E, M$, el supuesto de distribución acerca de Z_i implica que el costo más bajo, $c_i(j)$, es la realización de la variable aleatoria C_i , que se determina por la distribución de las tecnologías subyacentes en Z_i . Se denota la distribución del costo en i por $H_i(c) = \Pr[C_i \leq c]$. La distribución de costos en EUA es:

$$\begin{aligned} H_E(c) &= 1 - \Pr[Z_E \leq w_E / c] \Pr[Z_M \leq w_M d / c] \Pr[Z_C \leq w_{EC} / C] \\ H_E(c) &= 1 - F_E(w_E / c) F_M(w_M / c) F_C(w_{Ec} / c) \\ H_E(c) &= 1 - e^{-\Phi_E c^\theta} \end{aligned} \quad (6)$$

con:

$$\begin{aligned} \Phi_E &= T_E w_E^{-\theta} + T_M (w_M d)^{-\theta} + T_C w_{Ec}^{-\theta} \\ \Phi_E &= \sum_{i=E, M, C} T_i w_{Ei}^{-\theta} \end{aligned}$$

De forma similar, para México se tiene:

$$H_M(c) = 1 - e^{-\Phi_M c^\theta} \quad (7)$$

con:

$$\Phi_M = \sum_{i=E, M, C} T_i w_{Mi}^{-\theta}$$

La probabilidad de que el país n encuentre tecnología del tipo i en la fuente de menor costo para algún bien es:⁷

$$\pi_{ni} = \frac{T_i w_{ni}^{-\theta}}{\Phi_n} = \frac{X_{ni}}{X_n} \quad (8)$$

con $n = E, M$ e $i = E, M, C$; donde las fuentes de tecnología no son necesariamente países, sino que pueden ser conjuntos de tecnologías. π_{ni} también es la proporción de bienes que el país n compra a i , donde X_n es el gasto total del país n y X_{ni} es gastado en bienes desde i .

DINÁMICA DE LA TECNOLOGÍA

Hasta aquí se ha considerado el equilibrio estático en el que los parámetros de la distribución de la tecnología están dados. En el tiempo, sin embargo, se pueden prever procesos de innovación y difusión gobernando la evolución de las T_{it} (incorporando el tiempo). Se sigue, por ejemplo, la especificación de Krugman (1979), la cual permite suponer competencia perfecta. En tal caso, cada país innova a una tasa exógena, que es proporcional a su conocimiento actual y las ideas fluyen desde el stock común a tasas proporcionales al stock de ideas exclusivas. Por lo anterior, es necesario introducir cuatro parámetros: τ_E , tasa a la que E innova, τ_M , tasa a la que M innova, ϵ_E , tasa a la que M aprende a utilizar las tecnologías exclusivas de E (tasa de difusión) y, ϵ_M , tasa a la que E aprende de las tecnologías de M . Por lo tanto, T_{Et} , T_{Mt} y T_{Ct} evolucionan de acuerdo a:

⁷ Al respecto, véase Eaton y Kortum (2002).

$$\begin{aligned}\dot{T}_{Et} &= (\tau_E - \epsilon_E) T_{Et} + \tau_E T_{ct} = \tau_E T_{Et}^* - \epsilon_E T_{Et} \\ \dot{T}_{Mt} &= (\tau_M - \epsilon_M) T_{Mt} + \tau_M T_{ct} = \tau_M T_{Mt}^* - \epsilon_M T_{Mt} \\ \dot{T}_{ct} &= \epsilon_E T_{Et} + \epsilon_M T_{Mt}\end{aligned}\quad (9)$$

Tal como señalan Eaton y Kortum (2002), la solución analítica de este sistema es compleja, pero es mucho más sencillo mostrar que mientras los parámetros de innovación y difusión sean estrictamente positivos y el valor inicial de al menos una T_i positiva, el sistema evoluciona hacia un estado estable en el cual los tres tipos de conocimiento crecen a la misma tasa. En general, la tasa de crecimiento resultante de la tecnología es la solución de una ecuación cúbica. Se puede mostrar, sin embargo, que la tasa de crecimiento de estado estacionario es creciente tanto en los parámetros de innovación como en los de difusión (Eaton y Kortum, 1999). Un mundo con más innovación pero también con más difusión crece más rápido.⁸

LA INNOVACIÓN COMO VARIABLE ENDÓGENA

El modelo se extiende para tratar la innovación como variable endógena. Se asume que las ideas exclusivas fluyen hacia un stock común de conocimiento a una tasa común exógena. Se considera que una innovación es la producción de ideas (Kortum, 1997). Una idea es una forma de producir el bien j con producto por trabajador q . Es igualmente probable que una idea se aplique en cualquier bien en el intervalo unitario, donde q se considera como la realización de la variable aleatoria Q derivada de la distribución de Pareto:

⁸ Eaton y Kortum (2002) consideran el caso especial de simetría, $\tau_E = \tau_M = \tau$ y $\epsilon_E = \epsilon_M = \epsilon$, que lleva a una tasa de crecimiento de estado estacionario estrictamente creciente en τ y ϵ . Asimismo, Krugman (1979) considera un caso especial en el que solamente E innova, por lo que $\tau_M = 0$ y la tasa de crecimiento es simplemente τ_E mientras que $T_M = 0$.

$$F(q) = \Pr[Q \leq q] = 1 - q^{-\theta} \quad (10)$$

con $q \geq 1$. Sólo se utilizará una idea que disminuya el costo de participar en un mercado. Inicialmente, las ideas del país n son utilizables sólo para la producción en ese país. Por ende, para que una idea del país n disminuya el costo de producción del bien j en el mercado doméstico, se necesita que q satisfaga:

$$w_n / q = c_n(j) = \min_{i=N,S,C} [w_{ni} / z_i(j)] \quad (11)$$

donde $z_E(j)$, $z_M(j)$ y $z_C(j)$ representan el estado del arte en las tecnologías exclusivas a E , a M y comunes, respectivamente (w_{ni} es el salario que incluye el costo de transporte que aplica para la tecnología i en el mercado n). Para bajar el costo de producir el bien j para el mercado internacional, $m \neq n$, se debe cumplir:

$$w_{nd} / q = c_m(j) = \min_{i=N,S,C} [w_{mi} / z_i(j)] \quad (12)$$

Dado el costo local actual del bien j , $c_n(j)$, la probabilidad de que una innovación local baje el costo es:

$$\Pr[w_n / Q \leq c_n(j)] = \Pr[Q \geq w_n / C_n(j)] = [w_n / c_n(j)]^{-\theta} \quad (13)$$

Además, dado el costo en el mercado internacional m , $c_m(j)$, la probabilidad de que esta innovación baje el costo en el extranjero es:

$$\Pr[w_{nd} / Q \leq c_m(j)] = \Pr[Q \geq w_{nd} / C_m(j)] = [w_{nd} / c_m(j)]^{-\theta} \quad (14)$$

De esta manera, con la posibilidad del comercio internacional, el costo de un bien no puede diferir nunca entre países por un factor mayor a d –puede diferir por menos– y el criterio para exportar es más difícil ahora. Asimismo, pequeñas innovaciones pueden usarse para producir solamente para el mercado doméstico, mientras las más grandes también serán usadas para exportar.

En consecuencia, se necesita introducir en el modelo un incentivo para la innovación. Así, se sigue la idea de la “escalera de la calidad” (*quality-ladders*),⁹ y se asume que el propietario de una innovación tiene la capacidad de usarla para producir y vender un producto al mayor precio posible que mantenga a la competencia acosada. Asimismo, un inventor que puede producir el bien j al costo unitario $c^{(1)}(j)$ puede fijar un precio $c^{(2)}(j)$, el segundo costo unitario de producción más bajo.

DISTRIBUCIÓN DEL MARGEN DE GANANCIA

Considerando el *markup*, $M_{nit} = C_{nt}/(w_{ni}/Q)$ (las letras mayúsculas son variables aleatorias), de un bien producido con una idea en la clase tecnológica, la eficiencia Q se obtiene de la distribución (10), mientras que el costo alternativo, C_{nt} , se alcanza independientemente de la distribución del costo:

$$H_{nt}(c) = 1 - e^{\Phi_{nt} c^{\theta}} \quad (15)$$

Si la realización de $M_{nit} < 1$, entonces no se usa la idea en el mercado n . Si excede uno se venderá al precio C_{nt} . La probabilidad de que el *markup* exceda algún valor m es:

$$b_{nit}(m) = \Pr[M_{nit} \geq m] = \Pr[C_{nt} \geq w_{nt} m / Q] \approx \frac{m^{-\theta}}{\Phi_{nt} w_{ni}^{\theta}} \quad (16)$$

⁹ Véase Grossman y Helpman (1991) y Aghion y Howitt (1992).

donde la última aproximación es exacta en la medida que Φ_{ni} crezca. Para que el bien sea vendido se requiere que $M \geq 1$, lo que ocurre con probabilidad:

$$b_{nit}(1) = \frac{1}{\Phi_{ni} w_{ni}^{\theta}} \quad (17)$$

y usando (8), se llega a:

$$b_{nit}(1) = \frac{\pi_{ni}}{T_{it}} \quad (18)$$

Se utilizará una idea sí y sólo sí $m \geq 1$. La parte del beneficio total ganado por usar la tecnología de tipo $i = E, M, C$ en el mercado n es π_{ni} . Si una idea sigue siendo de valor, entonces será como cualquier otra idea en términos de la distribución de su calidad, Q , sin importar cuándo se inventó. En consecuencia, considerando estas expresiones se calcula el valor de las ideas.

EL VALOR DE LAS IDEAS

Considerando que la tecnología puede divulgarse, y que pueden darse cambios en los precios, el valor real esperado de una idea desarrollada en el país i en el tiempo t es:

$$\begin{aligned} v_{it} = \frac{P_{it}}{1+\theta} \int_t^{\infty} \frac{e^{-\rho(s-t)}}{P_{is}} \left[e^{-\alpha(s-t)} \left(\frac{\pi E_i \times E_s + \pi M_i \times M_s}{T_{is}} \right) \right] ds \\ + \left[1 - e^{-\alpha(s-t)} \left(\frac{\pi E_c \times E_s + \pi M_c \times M_s}{T_{cs}} \right) \right] ds \end{aligned} \quad (19)$$

donde ρ es la tasa de descuento. La expresión $\pi_{Ni} X_{Ni} + \pi_{Si} X_{Si}$ representa el gasto total en bienes hechos con tecnologías del tipo i . P_{it} es el nivel de precio en el país i en el tiempo t . Con preferencias Cobb-Douglas y competencia Bertrand, el precio de un bien j es el segundo costo más bajo para producirlo, $c^{(2)}(j)$, por lo que:

$$P_{it} = e\left(\frac{1-\gamma}{\theta}\right) \Phi_{nt}^{-1/\theta} \quad (20)$$

donde γ es la constante de Euler (0.5772...). Se asume que ambas fuerzas de trabajo crecen a la tasa g_L , con $L_E = \lambda L_M$. Para ello se requiere que $g_T/\theta < \rho$. En el estado estacionario salarios y π_{ni} son constantes, mientras que las T_i crecen a la tasa de g_T , por lo que los precios caen a la tasa g_T/θ . El beneficio es una participación constante del ingreso, que también crece a la tasa g_L .

Debido al pago de derechos por tecnologías usadas –inventadas en el extranjero– para la producción doméstica, se necesita distinguir el ingreso del país i , X_{it} , que incluye el ingreso neto proveniente del pago de derechos en el extranjero, de su producción, que se denota por Y_{it} . De esta manera, X_{it} se expresa, en términos de los productos Y_{it} y Y_{nt} , $n \neq i$:

$$X_{it} = \left(1 - \frac{\omega_{in}}{1+\theta}\right) Y_{it} + \left(\frac{\omega_{ni}}{1+\theta}\right) Y_{nt} \quad (21)$$

donde ω_{ni} es la participación de la tecnología empleada en el país n , propiedad de inventores del país i . Como el ingreso laboral de la producción en el país i es $\omega_i L_{it}^P$, donde L_{it}^P son los trabajadores en la producción, se puede relacionar el producto con el ingreso laboral como:

$$Y_{it} = w_i L_{it}^P + \frac{Y_{it}}{1+\theta} = \frac{1+\theta}{\theta} w_i L_{it}^P \quad (22)$$

Se emplean estas expresiones para obtener el valor de las ideas en los diferentes casos que se consideran más adelante.

LA TASA DE INNOVACIÓN

Se introduce en el modelo una función de producción para la innovación, con productividad de investigación en el país i , α_i , $i = E, M$. Así, la tasa a la que las ideas en la tecnología i son creadas es $\alpha_i r_{it} L_{it}$, $i = E, M$, donde r_i es la participación de la fuerza de trabajo del país i que hace investigación y L_i es la fuerza de trabajo total de ese país. Se asume que una idea transita desde cualquier tecnología exclusiva hacia la tecnología en común con un riesgo común ϵ . Además, el cociente de la tecnología exclusiva al país i en relación con los trabajadores del país i en el tiempo t es $t_{it} = T_{it}/L_{it}$, que evoluciona de acuerdo a:

$$\frac{\dot{t}_{it}}{t_{it}} = \frac{\dot{T}_{it}}{T_{it}} - \frac{\dot{L}_{it}}{L_{it}} = \frac{\alpha_i r_{it} L_{it}}{T_{it}} - (g_L + \epsilon) \quad (23)$$

En estado estacionario (EE) r_i y t_i son constantes, por lo que $t_i = \alpha_i T_i / (g_L + \epsilon)$ y $g_T = g_L$. Finalmente, se tiene que $t_{ct} = T_{ct} / (T_{et} + T_{mt})$ es la razón de la tecnología común a la tecnología exclusiva. Así, en EE t_c es constante e igual a ϵ / g_L , y se cumple $g_T = g_L$. En un equilibrio en el que los trabajadores en un país se ocupan simultáneamente de producir e innovar, los rendimientos para cada actividad deben ser iguales.

Un equilibrio de EE es una solución para r_E, r_M y w_E/w , que es consistente simultáneamente con el producto del valor de la innovación y la productividad innovadora en relación con la tasa de salario y con las condiciones de vaciado del mercado de bienes derivadas arriba.

ESTADO ESTACIONARIO DE LA INVESTIGACIÓN Y EL CRECIMIENTO

Debido a que pueden surgir diferentes situaciones, se evita dar alguna solución analítica general. Pero bajo cada uno de los cuatro supuestos acerca de la

difusión y barreras comerciales, el modelo produce discernimientos de los efectos de la globalización en la investigación: *i*) no difusión ($\epsilon = 0$); *ii*) difusión instantánea ($\epsilon \rightarrow \infty$); *iii*) autarquía ($d \rightarrow \infty$); y, *iv*) libre comercio ($d = 1$). Estos cuatro casos oscilan entre el rango completo de posibilidades, proporcionando conjeturas de la solución general. No obstante, para los propósitos de este trabajo se consideran únicamente los casos de difusión instantánea y libre comercio, que parecen ajustarse con la realidad de la economía mexicana.

DIFUSIÓN INSTANTÁNEA

En el caso en que la difusión es instantánea ($\epsilon \rightarrow \infty$), todas las ideas son comunes por lo que $\pi_{nC} = 1$, $n = E, M$. Puesto que todas las ideas se difunden inmediatamente, todas tienen el mismo valor sin importar su origen. Por lo anterior, se puede escribir el valor de una idea de cada país como:

$$V = \frac{1}{\rho\theta - gL} \frac{w_E L_E (1 - r_E) + w_M L_M (1 - r_M)}{T_C} \quad (25)$$

Definiendo $\psi = T_C/L_E$, y diferenciando con respecto al tiempo, se obtiene que en EE:

$$\psi = \frac{\alpha_E r_E \lambda + \alpha_M r_M}{gL\lambda} \quad (26)$$

donde $\lambda = L_E/L_M$. Debido a que México puede emplear las mismas tecnologías que EUA, para que E se comprometa en la producción se requiere que $w_E \leq w_M d$. Lo que suceda dependerá del tamaño relativo de α_N/α_S y d :

1. Por ejemplo, si $\alpha_E/\alpha_M \geq d$. Entonces, mientras E continúe produciendo $w_E = w_M d$ y se está en el caso 2. Así, EUA hace toda la investigación ($r_M = 0$). La proporción de los trabajadores en E dedicados a la investigación es:

$$r_E = \frac{g_L}{\rho\theta} (1 + 1/d\lambda) \quad (27)$$

Comparado con el caso de no difusión, la cantidad de investigación es mayor en E en proporción al tamaño relativo de $M(1/\lambda)$, descontado por la barrera comercial $(1/d)$.¹⁰ Pero, puesto que $\alpha_E / \alpha_M \geq d$, la investigación efectiva es mayor ya que los investigadores estadounidenses son más productivos. Esta condición asegura que, si E es tanto productor como investigador, entonces M no encuentra incentivos en la investigación. En este equilibrio M alcanza un superávit comercial con E para pagar por las ideas que emplea en la producción. No obstante, queda indeterminada la ubicación de la producción de un bien cualquiera.

2. Por el contrario, si $\alpha_E / \alpha_M < d$ se está en el caso 3. Ambos países realizan esfuerzos de investigación y el salario relativo refleja la productividad investigadora, es decir, $w_E / w_M = \alpha_E / \alpha_M < d$. Dado que las barreras comerciales exceden la diferencia salarial, cada país producirá sus propios bienes. Es así que, no hay bienes para el comercio internacional; el pago de derechos (por la transferencia de tecnología) debe balancear la economía, lo cual requiere que $r = r_E = r_M$. Para que cada país encuentre incentivos en la investigación es necesario que:

$$r = \frac{g_L}{\rho\theta} \quad (28)$$

Por ende, en un contexto ricardiano, si la diferencia en la productividad investigadora excede las barreras comerciales, los países se especializan en investigación de acuerdo a la ventaja comparativa. Pero si $\alpha_E / \alpha_M < d$, los

¹⁰ Debido a este descuento, el número de personas dedicadas a la investigación en el mundo es más pequeño que en la situación de no difusión.

países hacen investigación mientras utilizan las ideas de los otros países. Así, mediante los flujos de conocimiento las economías se benefician de la innovación de los otros y no por el flujo de bienes.

LIBRE COMERCIO

Supóngase que el comercio internacional ocurre sin ninguna barrera, esto es $d = 1$.¹¹ Si los valores del parámetro son tales que se presenta el caso 2, entonces se tiene que el salario en las dos economías es idéntico, así como el valor de una idea. Si la productividad investigadora en México es menor, se tendrá que únicamente EUA se comprometerá en la actividad investigadora. En cualquier caso, la participación del trabajo mundial ocupado en la investigación es el mismo que en la situación de economía cerrada ($g_L / \rho \theta$).¹²

Una situación interesante es cuando se tiene un conjunto de parámetros que llevan al caso 1, donde el salario en E es mayor al de M . En este caso, E emplea solamente sus propias tecnologías exclusivas para él, pero obtiene derechos por tecnologías que se han difundido hacia las tecnologías en común y que son empleadas en M . La expresión para el valor de las ideas se simplifica al reconocer que, el gasto en bienes producidos mediante tecnologías de E es del mismo tamaño que el gasto en bienes producidos por trabajadores de E . Por tanto:

$$\pi_{EE} X_{Et} + \pi_{ME} X_{Mt} = Y_{Et} = \frac{1 + \theta}{\theta} w_E L_{Et} (1 - r_E) \quad (29)$$

Solamente M usa las tecnologías disponibles para ambos, mientras que también emplea las tecnologías exclusivas para él. La demanda total de trabajo en M es, por tanto:

¹¹ Por ello el caso 3, en el que cada país produce sus propios bienes con tecnología en común, no es considerado como posibilidad.

¹² Este resultado requiere que la participación de la fuerza laboral del mundo en E sea mayor a $g_L / \rho \theta$, de lo contrario E se especializará completamente en la investigación y su salario podría ser mayor.

$$(\pi_{Ec} + \pi_{EM})X_{Et} + (\pi_{Mc} + \pi_{MM})X_{Mt} = Y_{Mt} = \frac{1+\theta}{\theta} w_M L_{Mt} (1 - r_M) \quad (30)$$

Sustituyendo estas expresiones en el valor de las ideas, y resolviendo para los niveles de EE de r_E y r_M , se tiene:

$$r_E^* = \frac{g_L + \epsilon}{\rho\theta + \epsilon \left\{ 1 + \theta \left[1 - \left(\alpha_E / \alpha_M \right) \left(w_M / w_E \right) \right] \right\}} \quad (31)$$

$$r_M^* = \frac{g_L}{\rho\theta} - \frac{\epsilon}{g_L + \epsilon} \left(\alpha_E \lambda / \alpha_M \right) r_E \left(1 - \frac{g_L}{\rho\theta} \right) \quad (32)$$

El caso 1 requiere que se cumpla $w_E/w_M > 1$ y $r_s > 0$. Para muchos valores de los parámetros M termina sin realizar actividades innovadoras. Los casos interesantes son cuando ambos países investigan. Nótese que sin difusión se tiene $r_E = r_M = g_L / \rho \theta$. Al mismo tiempo un análisis gráfico establece que, para valores razonables de los parámetros, un aumento en la difusión desde 0, incrementa los esfuerzos en la innovación en E . En consecuencia, con la inclusión de la difusión, se cambian los esfuerzos en la actividad innovadora desde M hacia E , en línea con los preceptos de la ventaja comparativa.

3. LOS HECHOS SEGÚN EL MODELO

De esta manera, utilizando datos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), se describe la relación entre innovación, difusión tecnológica y comercio internacional, empleando el esquema que proporciona el modelo de Eaton y Kortum (2007). Dado que este trabajo analiza la tecnología en un contexto de intercambios de bienes entre México y EUA, es razonable centrarse en los casos de libre comercio y difusión.

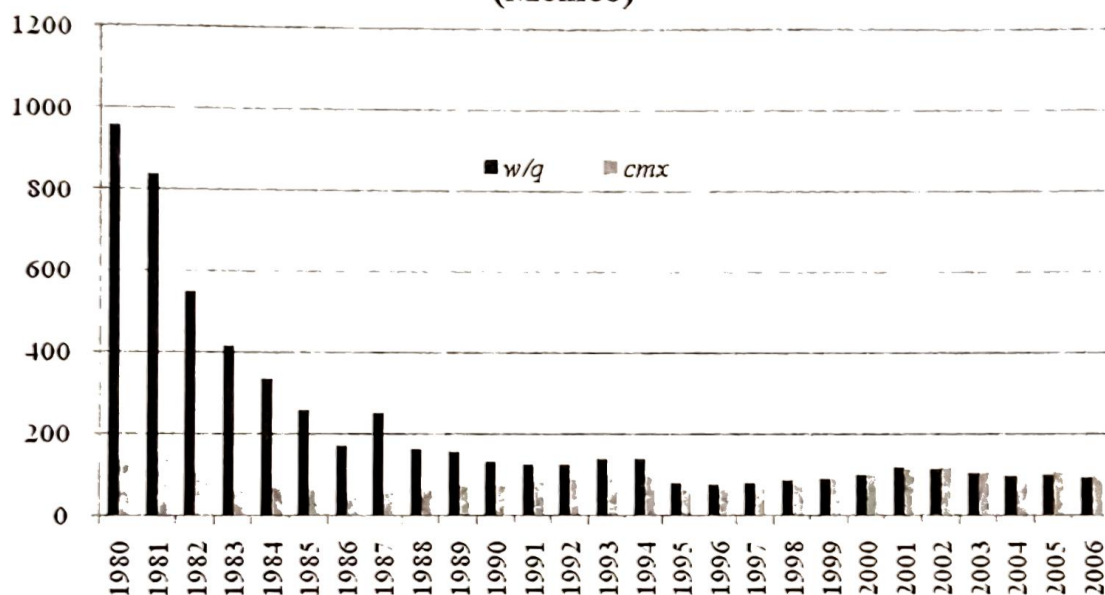
En general, parece existir una enorme brecha tecnológica entre estas economías, sin embargo no todas las nuevas ideas plasmadas formalmente en una patente son empleadas en la producción.¹³ Comúnmente, sólo el nuevo conocimiento patentado que reduzca los costos de producción es empleado en los procesos productivos. En este sentido, la gráfica 1.a permite ver la ineficiencia de las patentes mexicanas. Excepto por los últimos tres años, las nuevas ideas creadas en este país han provocado un aumento en el producto por trabajador, menos que proporcional al aumento en el salario, limitando el impacto favorable en los costos de producción. No obstante, las patentes estadounidenses han tenido un comportamiento similar (gráfica 1.b) manteniendo, en este sentido, el diferencial en la creación de conocimiento efectivo entre ambos países.

El alcance de las patentes en México sobre los costos de producción y exportación a EUA tuvo una buena etapa al final de la década pasada, aunque esta ventaja se evaporó en los últimos años (gráfica 1.c). Al mismo tiempo, la producción estadounidense realizada con nuevas ideas que se exportó a México, registra un notable repunte luego de varios años en los que la relación salario-producto de nuevas ideas no había representado beneficios en términos de costos de la producción (gráfica 1.d). En suma, no sólo la cantidad de patentes concedidas en EUA es mayor que en México, sino que además el efecto favorable, al menos para los productos de exportación, ha sido mayor para aquella economía. Lo arriba señalado confirma la idea de ineficiencia en los esfuerzos sistemáticos de investigación y desarrollo que generan nuevas patentes dentro de la economía mexicana.

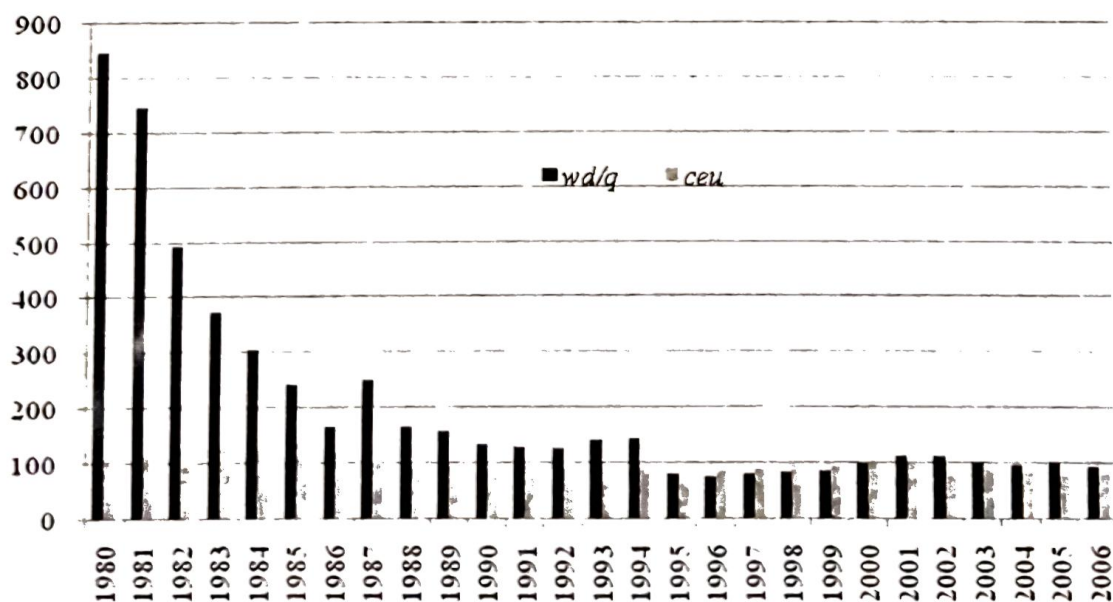
Lo anterior puede explicarse por la incapacidad de las firmas mexicanas de apropiarse de los beneficios que otorga la protección de las patentes. El margen de ganancia, en términos agregados, que las empresas cargan al precio de sus productos no ha generado los incentivos necesarios para realizar esfuerzos

¹³ Considerando el nivel de innovación tecnológica, medido por el número de patentes, se tiene que las patentes en la economía mexicana en los últimos 27 años representan, en promedio, poco menos del 4% del total de patentes concedidas a empresas nacionales y extranjeras en EUA.

GRÁFICA 1
Salarios, producto por trabajador de una innovación
y costos de producción
(México)



Panel (a) Mercado doméstico

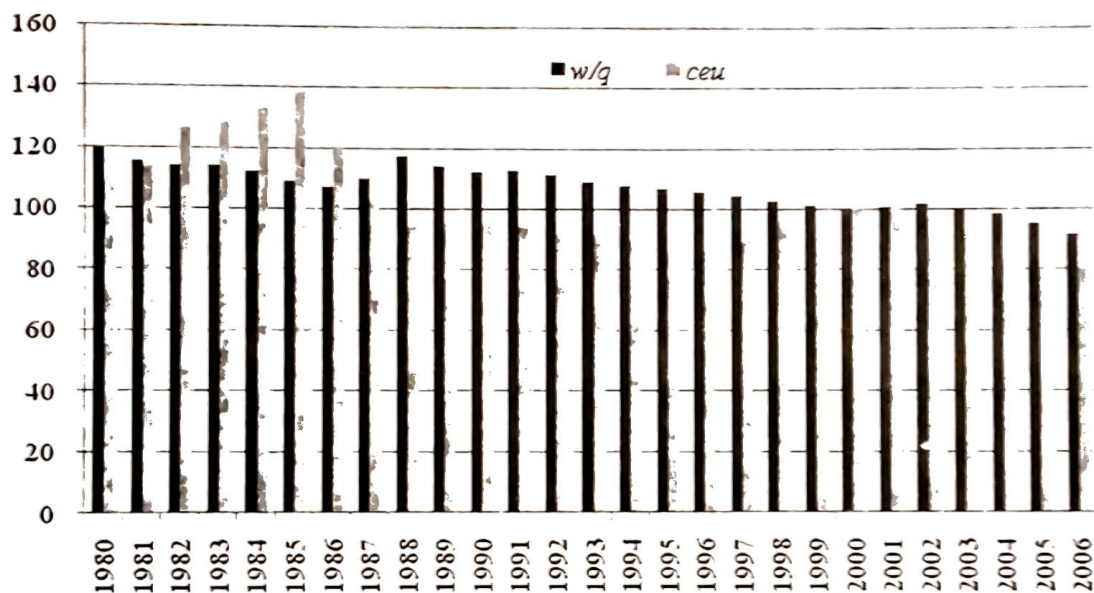


Panel (b) Mercado extranjero

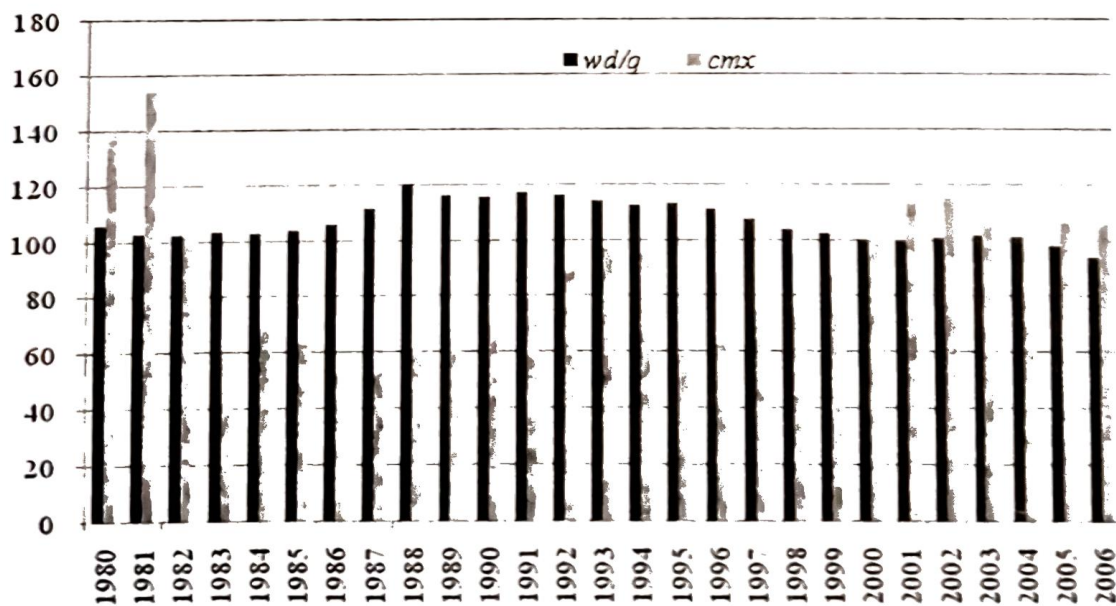
Fuente: elaboración propia.

GRÁFICA 1
(Continuación)

(Estados Unidos)



Panel (c) Mercado doméstico



Panel (d) Mercado extranjero

Fuente: elaboración propia.

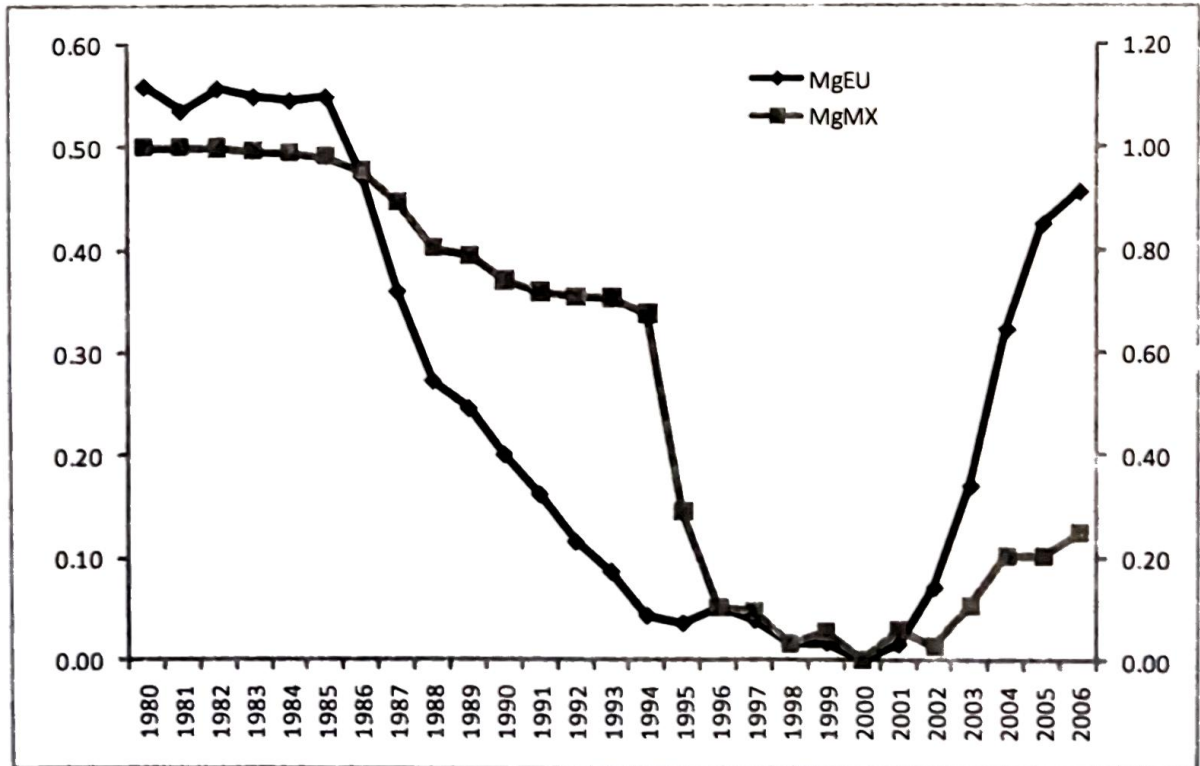
en innovación de mayor alcance (crecimiento promedio anual cercano al 0.14%), reflejándose en un pobre crecimiento en el número de patentes y posiblemente en innovaciones de tipo incremental que, por un lado, no representan ventaja para participar en mercados internacionales y, por el otro, tienen un interés limitado de los productores extranjeros por adquirir dichas tecnologías.

Como las nuevas ideas no proporcionan supremacías en el *mark up* de las empresas, dejan de utilizarse o tienen un uso limitado. Por el contrario, en EUA, el repunte en el margen de beneficio de las empresas en los últimos años coincide con la mayor productividad de las nuevas patentes, en términos de reducción de costos en el mercado extranjero (gráfica 2).

En línea con lo anterior, la tasa de crecimiento de la eficiencia promedio de la tecnología (g_T) nacional e importada, empleada en México para la producción, se

GRÁFICA 2

Distribución del margen de ganancia de una innovación

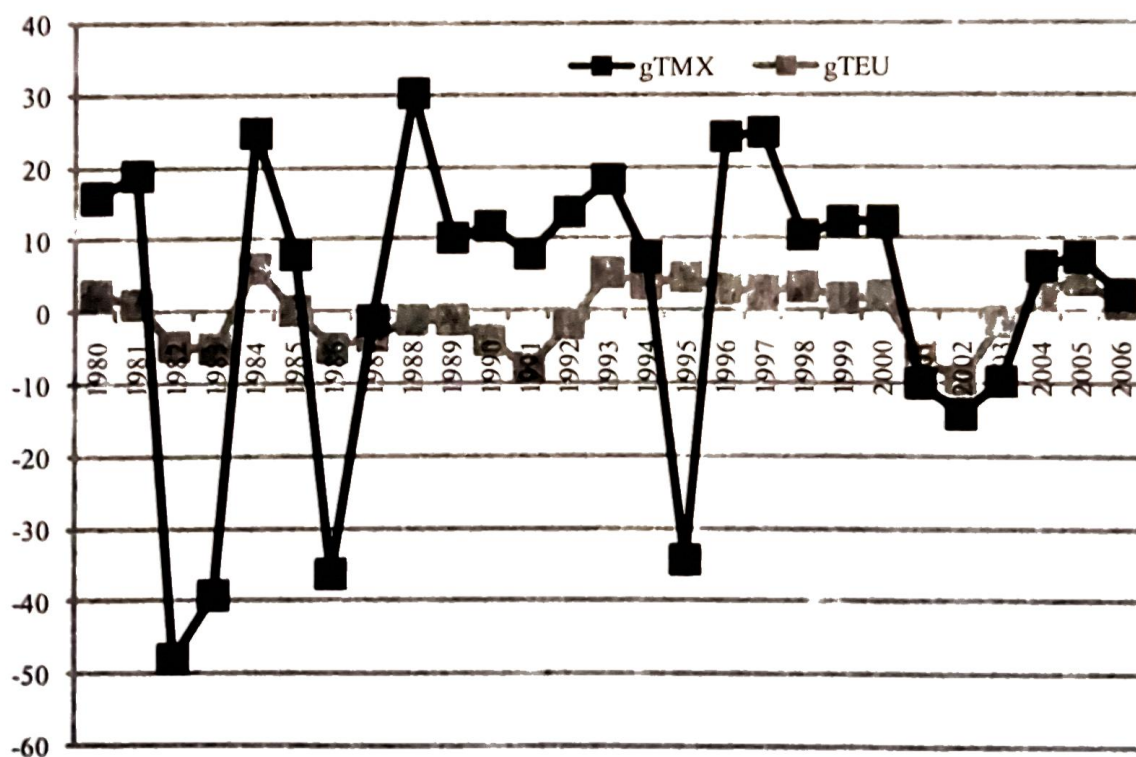


Fuente: elaboración propia.

caracteriza por claras irregularidades con tendencia casi estacionaria (gráfica 3). Destaca la aparente paradoja registrada en México durante el subperiodo 2001-2003 en el que, a pesar del menor crecimiento de la eficiencia tecnológica, se alcanzó eficiencia productiva en el mercado doméstico derivada de las nuevas (y mejores) ideas. El crecimiento del número de investigadores y de trabajadores con educación terciaria en esos tres años, en 36 y 53% respectivamente, respecto a los anteriores tres, puede explicar esa situación. Así, el aparente *trade-off* entre crecimiento de la eficiencia tecnológica y eficiencia en términos de costos de producción, se explica por el relativo repunte en la tasa de difusión o de aprendizaje de los trabajadores e investigadores mexicanos en ese periodo.

GRÁFICA 3

Tasa de crecimiento de la eficiencia promedio de la tecnología



Fuente: elaboración propia.

Otro aspecto derivado de la gráfica anterior es la similitud en el desempeño entre la eficiencia en México y EUA, aunque más pronunciada para el primero. Esto se vincula con la penetración de tecnología estadounidense en el sector productivo mexicano que, en promedio, durante toda la serie representa el 22% del total de tecnología. Así, cuando la eficiencia de las ideas creadas en EUA e importadas por México cambia, la eficiencia de la tecnología total en México responde más que proporcionalmente, en especial en las contracciones.

Al respecto, existen dos efectos contrarios derivados del uso de tecnologías estadounidenses por firmas mexicanas. Un efecto positivo se alcanza por el mero empleo de nuevas y mejores tecnologías que pueden desplazar a las domésticas (ya que tienen curva de costos medios más eficientes). El efecto negativo se explica, de nuevo, por la limitada eficiencia en la adaptación de esas tecnologías durante todo el periodo considerado. En este sentido se afirma que, el capital humano de las economías, entendido como la capacidad de aprender y adaptar las nuevas ideas del extranjero a los procesos productivos domésticos, es aún más relevante conforme más tecnología se importe. En el caso de la economía mexicana parece existir una relación positiva entre la proporción de la tecnología importada desde EUA (ω) y el capital humano, medido por el número de graduados del tercer nivel.¹⁴

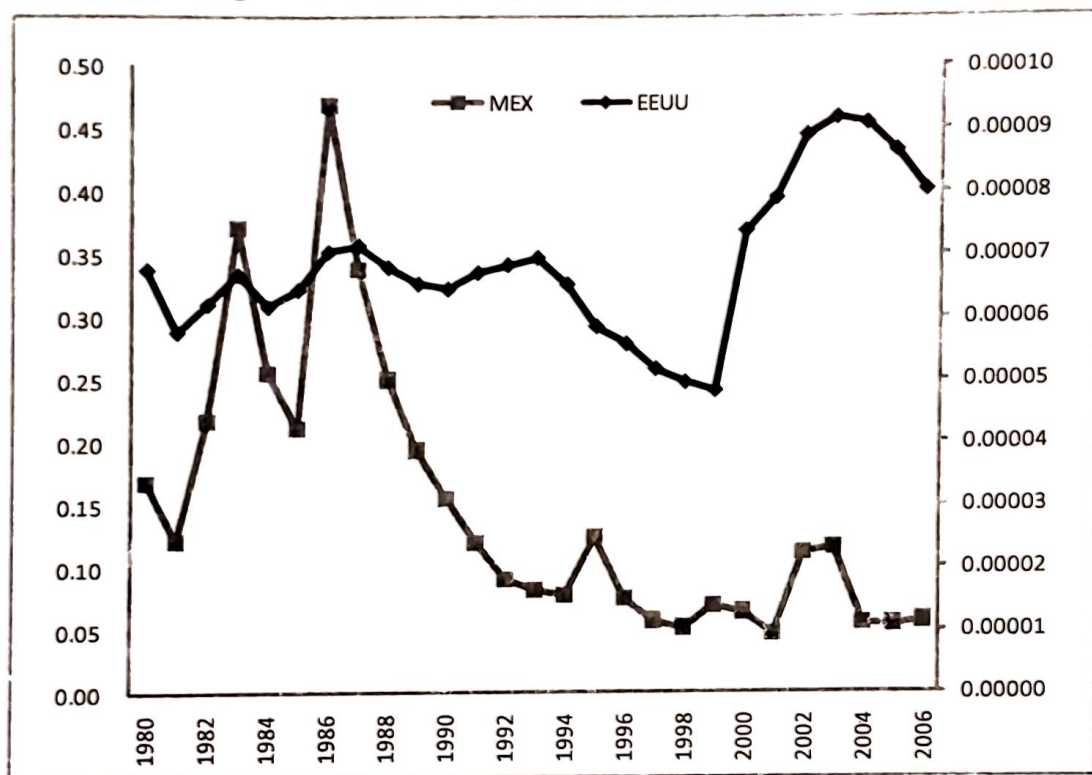
Los argumentos anteriores se confirman al considerar la tasa a la que la economía mexicana aprende de las nuevas ideas generadas en el mercado de EUA (ϵ). Las firmas mexicanas son mejores, relativamente, en la adaptación de la tecnología importada desde EUA que las firmas estadounidenses cuando importan tecnología mexicana (gráfica 4).

La tasa a la que las ideas en la tecnología en general son creadas en EUA es notablemente superior a la tasa de creación de ideas en México (αrL) –véase la gráfica 5–. Este indicador se construye con la productividad innovadora (α) de los investigadores en cada economía, potenciada por la fuerza de trabajo (L). La

¹⁴ El coeficiente de correlación fue, durante todo el periodo, de un orden elevado (0.82). Asimismo, considerando diversos subperiodos, los coeficientes se mantuvieron sistemáticamente altos, lo que corrobora la estrecha relación entre estas variables.

GRÁFICA 4

Tasa a la que el país doméstico aprende de las ideas del país extranjero



Fuente: elaboración propia.

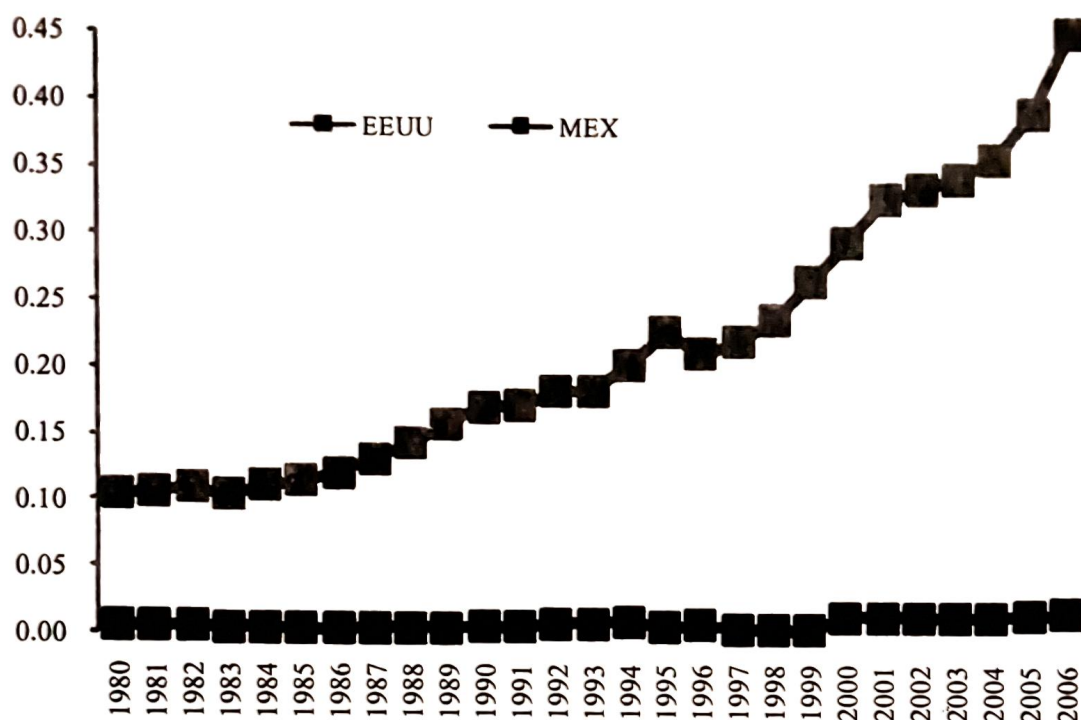
α parece ser más alta en México, es decir, el producto del trabajo de los investigadores es mayor en términos relativos en la economía mexicana que en EUA;¹⁵ aunque la proporción del producto económicamente utilizable es baja. Sin embargo, un fuerte porcentaje de mano de obra en EUA cuenta con educación terciaria estimulando, en última instancia, la creación de nuevo conocimiento utilizable.¹⁶

¹⁵ Las patentes son consideradas como producto de la investigación y desarrollo (Fransman y King, 1984). Cuando se mide la productividad con datos de patentes concedidas en cada país se cumple el resultado anterior. Sin embargo, al considerar datos de familias de patentes de la triada, la productividad innovadora es exponencialmente mayor en EUA que en México.

¹⁶ En 2006, EUA tenía aproximadamente 2.6 veces más trabajadores con alguna carrera universitaria, posgrado o especialidad que México. Contar con mayor capital humano es pues, base para estimular la creación de conocimiento y difusión y aprendizaje del mismo.

GRÁFICA 5

Tasa de creación de ideas

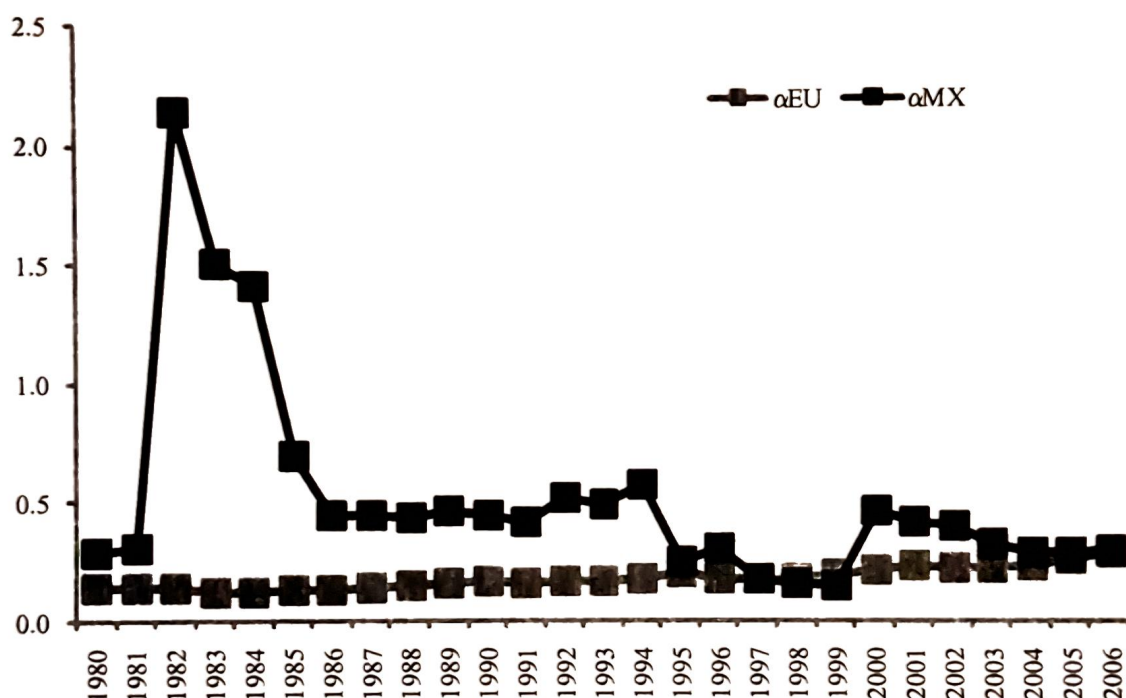


Fuente: elaboración propia.

Así, parece que el capital humano en México es capaz de adaptar nuevas tecnologías pero está limitado en cuanto a la capacidad de crear nuevas ideas tecnológicas. Asimismo, la productividad de los investigadores en México es decreciente particularmente en los últimos años (gráfica 6). Entre 2004-2006 se precisó un crecimiento del 36% en la cantidad de investigadores para obtener un aumento de apenas 13% en el número de patentes concedidas respecto al periodo 2001-2003. Esto refleja la dificultad de obtener resultados satisfactorios en términos de nuevas ideas. En consecuencia, se necesitan más investigadores para crear conocimiento –patentado– capaz de impactar en la curva de costos de las firmas productoras que sirven al mercado nacional.

Tal vez las nuevas ideas no sean tan importantes o, por el contrario, el sistema de patentes cumple el objetivo de evitar que otras empresas se apropien de esta tecnología libremente, impidiendo efectos *spillover* sobre la economía y, por tanto, limitando la competitividad precio (costo) de los productos mexicanos.

GRÁFICA 6
Productividad innovadora



Fuente: elaboración propia.

Después de considerar las distintas variables tecnológicas en la relación México-EUA, se argumenta que existe un perfil definido de la economía mexicana: ineficiencia de las patentes en términos de costos, limitada capacidad de adaptación de tecnologías estadounidenses y productividad investigadora relativamente alta pero con baja tasa de patentes económicamente utilizables. Sin embargo, esta afirmación debe comprobarse mediante el empleo de técnicas más rigurosas, lo que se realiza en el siguiente apartado.

4. EL MODELO ECONOMÉTRICO

En esta sección se presenta la especificación del modelo de determinantes de la tasa de investigadores que, en un contexto de globalización, se entiende como comercio internacional y difusión tecnológica.

La teoría de la ventaja comparativa señala que los países se especializan en la producción y exportación de bienes donde mantienen una ventaja. De acuerdo con Eaton y Kortum (2002), para mantener esas ventajas las naciones deben crear nuevas ideas que les permitan participar en los mercados internacionales. Dentro de la estructura del modelo teórico presentado en la sección dos, el porcentaje de las personas dedicadas a la investigación como proporción del total de fuerza de trabajo, depende de diversos factores. Dado el contexto en el que se desenvuelve la economía mexicana, se acepta que se cumple el caso teórico de libre comercio ($d=1$) y, por lo tanto, r estará determinada por el tamaño relativo de la productividad $[\lambda(\alpha_E / \alpha_M)]$, la tasa de difusión de las ideas (ϵ), la ventaja comparativa (θ), la tasa de crecimiento del trabajo (g_L) y por la tasa de descuento (ρ).

Así se especifica un modelo representado por una función de innovadores que establece la relación con los insumos, entendidos como las variables explicativas que se corresponden con pr , tdi , vc , tcl y td . Esta función indica el máximo nivel de investigadores que puede alcanzarse bajo combinaciones de los insumos. La función de investigadores se expresa:¹⁷

$$r = e^{\beta_1} \cdot pr^{\beta_2} \cdot tdi^{\beta_3} \cdot tcl^{\beta_4} \cdot td^{\beta_5} = e^{\beta_1} \prod_{k=2}^5 Y_k^{\beta_k}$$

Basados en el supuesto de la existencia de una relación lineal logarítmica entre las variables, el modelo se formula como:

¹⁷ Teóricamente, la función $f(\bullet)$ es bien comportada, continua y diferenciable. Una forma funcional que cumple con tales características es la función de producción Cobb-Douglas.

$$\ln(r_t) = \beta_1 + \beta_2 \ln(pr_t) + \beta_3 \ln(tdi_t) + \beta_4 \ln(tcl_t) + \beta_5 \ln(td_t) + u_t$$

Esta ecuación se estima mediante el procedimiento de cointegración de Johansen (1990). Las series de tiempo, de variables relacionadas con el crecimiento económico, el comercio internacional y la tecnología, exhiben tendencias estocásticas por lo que pueden no ser estacionarias, manifestándose necesaria la aplicación de un test de raíz unitaria. Asimismo, con el test de cointegración se determina si un grupo de series no estacionarias mantiene una relación estable de largo plazo. Es así que, para explorar la naturaleza de la relación de cointegración en un contexto multivariado, se emplea esta metodología cuyos resultados se presentan en el siguiente apartado.

5. RESULTADOS

El enfoque de cointegración requiere, como paso previo a la estimación, la determinación del orden de integración de las variables, es decir, establecer el número de veces en que cada variable necesita ser diferenciada para alcanzar la estacionariedad.

De esta manera, se realizaron las pruebas de Dickey-Fuller Aumentada (ADF) y Phillips-Perron (PP) para las series en logaritmos, en niveles, primera y segunda diferencias según el caso. Los resultados indican la existencia de raíces unitarias en cinco series; esto es, r , pr , tdi , vc y td son no estacionarias en niveles. En el caso de tcl se encontró evidencia para rechazar la hipótesis nula, concluyéndose que es $I(0)$ a un 95% de confianza; las demás variables se caracterizan como diferencias estacionarias, es decir, $I(1)$, con $vc \sim I(2)$. En consecuencia, las variables se introducen en el modelo de cointegración en niveles menos vc , que se incluye en primera diferencia. Es posible estimar la función de innovadores en niveles puesto que, una combinación lineal de dichas variables será estacionaria (Cuthbertson *et al.*, 1992).

Una forma de estimar las relaciones dinámicas existentes entre las distintas variables es, especificando un modelo de vectores autorregresivos (VAR) no

restringido y aplicando después la metodología de Johansen (1990) para verificar la presencia de vectores de cointegración. Así, se determina que la estructura del VAR para el análisis de cointegración es $k^*=1$.¹⁸ Se estableció además –siguiendo el Principio de Pantula–, considerando como máximo dos rezagos y ajustando el estadístico λ -traza por muestra pequeña, que existe evidencia para considerar un vector de cointegración en el modelo con una constante en el vector de cointegración, pero sin tendencia lineal en las variables en niveles. Mediante las pruebas de la traza y del máximo valor propio, sugeridas por Johansen (1988), se confirmó este resultado. Siguiendo a Johansen (1995), al normalizar el vector de cointegración se obtiene la siguiente ecuación de determinación de la tasa de innovadores mexicanos:

$$\begin{aligned} \ln r = & -2.7224 \ln pr - 0.8525 \ln tdi - 1.20274 \ln vcpd + 0.23721 \ln tcl + 5.9711 \ln td \\ & (-0.20083) \quad (-0.1523) \quad (-0.18123) \quad (-0.20181) \quad (-1.43986) \end{aligned}$$

Los coeficientes de la ecuación muestran la relación de equilibrio entre las variables, leyéndose directamente las elasticidades. Los números entre paréntesis son las desviaciones estándar. Los parámetros estimados son estadísticamente significativos al 95% de confianza ($\ln tcl$ al 90%); los signos de $\ln pr$ y $\ln tcl$ son los teóricamente esperados, en contraste $\ln tdi$, $\ln vcpd$ y $\ln td$ parecen afectar negativamente a la tasa de investigadores.

Esta representación permite interpretaciones valiosas aplicables a un horizonte de largo plazo. Primero, cuando la productividad investigadora de EUA respecto a la de México aumenta, la tasa de investigadores en el segundo país disminuye. La idea subyacente es que, al aumentar α_{EU} aumenta la especialización en producción e investigación, por lo que los recursos en la economía mexicana son reasignados hacia la estadounidense.

¹⁸ Al respecto, los residuos de este modelo son bien comportados de acuerdo a la inspección de los correlogramas y la prueba de normalidad, de tal forma que los residuos del modelo autorregresivo son ruido blanco, aceptándose dicha especificación.

Segundo, entre mayor sea la ventaja comparativa de México en el mercado de EUA, menor será r . Si bien la especialización productora y exportadora mexicana es en sectores de tecnología media alta y alta, las actividades de I&D están limitadas, por lo que este resultado confirma la idea de que las firmas mexicanas se especializan en etapas de producción menos avanzadas, esto es, en aquellas donde no se realizan importantes esfuerzos en investigación. Tercero, existe una relación positiva entre la fuerza de trabajo y la oferta de personas dedicadas a la investigación, es decir, al crecer L aumenta el capital humano, lo que en el largo plazo tiene efectos positivos en el número de investigadores. Cuarto, entre más rápido aprende la economía mexicana de las tecnologías estadounidenses, parece necesitarse de menos personas dedicadas a la investigación, lo que sugiere un efecto *crowding out* que provoca, en el largo plazo, una dependencia prácticamente total del sector productivo mexicano de las ideas originadas en EUA. Además, este resultado está en línea con la idea de que el capital humano parece estar más capacitado u orientado a la adaptación de tecnología que a la creación de nuevo conocimiento. Quinto, cuando aumenta la tasa de descuento la tasa de investigadores también crece; lo anterior parece un comportamiento irracional de las firmas mexicanas ya que, al aumentar la primera disminuye el valor presente de las ideas. En otras palabras, ante una mayor ρ el costo de oportunidad de emplear esos recursos en actividades de I&D aumenta respecto a las posibles inversiones en otras actividades.

Este comportamiento irracional explica, en parte, la ineficiencia de las patentes en México. Comprometer recursos en I&D aún cuando no parece la mejor decisión en términos de rendimiento, permite obtener más patentes —al aumentar el número de investigadores— que sin embargo, por la necesidad de recuperación de la inversión, terminan siendo de menor calidad, lo que se refleja en la pobre disminución de costos.

Por otro lado, para corroborar la validez del modelo se practicaron pruebas de exclusión y exogeneidad individual de las variables. Intuitivamente, la exogeneidad de una variable implica que sus valores pueden considerarse como

dados para analizar el comportamiento de las variables endógenas y, por lo tanto, no es necesario modelar expresamente la presunta variable exógena (Engle, Hendry y Richard, 1983).¹⁹

El cuadro 1 reporta los resultados de la prueba de exogeneidad débil siguiendo la metodología de contraste de Johansen (1995). La prueba rechaza la hipótesis nula a un nivel del 5% para todas las variables, excepto en el caso de *lnpr*. De esta manera, se acepta la exogeneidad débil de *lnr*, *lntcl*, *lntd*, *lntdi* y *lnvcpd*. Los resultados permiten concluir que todas las variables son causadas débilmente por las restantes cuatro.²⁰ Esto confirma la intuición de que la tasa de investigadores es una variable endógena.²¹

CUADRO 1
Prueba de exogeneidad débil y exclusión

Variables endógenas	<i>lnr</i>	<i>lnpr</i>	<i>lntcl</i>	<i>lntd</i>	<i>lntdi</i>	<i>lnvcpd</i>
Prueba de exogeneidad débil: $\alpha = 0$						
LR	3.2158	20.6361	2.7274	0.0066	0.4977	3.1796
Prob	0.0513	0.0000*	0.0986	0.9352	0.4805	0.0541
Prueba de exclusión: $\beta_i = 0$						
LR	10.5778	24.9883	12.7482	17.6317	0.8454	6.6142
Prob	0.0011*	0.0000*	0.0004*	0.0000*	0.3579	0.0101*

LR: Estadístico de máxima verosimilitud

(*) Rechazo de H_0 con un nivel de significancia del 5%

Fuente: elaboración propia.

¹⁹ De esta forma, la prueba de exogeneidad débil de cada variable estima la existencia de los coeficientes de ajuste no restringidos, por medio de la aplicación de restricciones cero en los coeficientes de ajuste ($\alpha_{jj} = 0$). Asimismo, se debe probar si todas las variables son importantes dentro del vector de cointegración, imponiéndose restricciones en los parámetros β_i para determinar si las variables pueden excluirse del mismo.

²⁰ Adicionalmente, se estimaron los estadísticos χ^2 para varios subperiodos (para cada uno, el año inicial es 1980 y el final 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005 y 2006, respectivamente) estableciéndose restricciones de exogeneidad débil. Para todas las muestras la prueba falla consistentemente en rechazar la hipótesis de exogeneidad individual para todas las variables, excepto para *lnpr*.

²¹ En este caso, imponer restricciones de exogeneidad débil no afecta considerablemente las estimaciones de las elasticidades asociadas a la tasa de innovadores.

En situaciones en que todas las variables de un sistema sean exógenas débiles excepto una, es posible realizar inferencias eficientes sobre los parámetros de cointegración (Harris, 1995), indicando que los agentes en la economía capitalizan favorablemente la información disponible. Por ende, se acepta la validez de las inferencias estadísticas de este modelo sobre la tasa de investigadores.

De igual forma, el cuadro 1 muestra los resultados de la prueba de exclusión. Existe evidencia para rechazar la hipótesis de exclusión individual, por lo que las variables estudiadas integran la relación de largo plazo y no deben eliminarse del modelo.

Por último, se contrastó si los residuos del VAR cumplían con las condiciones para aceptar la relación de cointegración entre las variables. Para ello, se probó que la especificación anterior alcanza los supuestos básicos de cointegración, es decir, independencia serial, normalidad, homoscedasticidad y estacionariedad. Se acepta, en general, que los residuos son bien comportados. Por esta razón las pruebas de cointegración son estrictamente válidas, confirmándose que existe una relación de cointegración entre las series.

6. CONCLUSIONES

El análisis de largo plazo de la función de investigadores permite comprobar que, existe una relación estable entre la tasa de investigadores en México y la productividad investigadora relativa, la tasa de difusión de las nuevas ideas, la tasa de crecimiento de la fuerza de trabajo y la tasa de descuento.

Pero, ¿qué lección surge del análisis anterior respecto a la relación entre la difusión de ideas, comercio internacional e innovación? En general, parece que la apertura comercial no altera la especialización en la relación bilateral México-EUA. La tasa a la que se crean ideas en EUA es abultadamente mayor que en la economía mexicana. La productividad investigadora, medida por las patentes concedidas en cada economía como proporción del total de investigadores y de la mano de obra con educación terciaria, parece ser más alta en México, aunque con mucha menos efectividad para reducir costos de las

firmas productoras y exportadoras, por lo que una cantidad menor de patentes tienen aplicación.

Destaca la aparente paradoja registrada en México en la que, a pesar del menor crecimiento de la eficiencia tecnológica, se alcanza eficiencia productiva en el mercado doméstico derivada de las nuevas ideas. Esta situación se explica por el relativo repunte en la tasa de difusión o de aprendizaje de los trabajadores e investigadores mexicanos en ese periodo.

Así pues, en la relación bilateral con difusión tecnológica, la ventaja comparativa en la investigación es más pronunciada en EUA, lo que está en línea con los argumentos de la especialización ricardiana de la producción. Entonces, considerando las diferencias en la tasa de creación de ideas entre ambas economías, que en última instancia afecta a la tasa de investigadores, las firmas dentro de la economía mexicana se especializarían en investigación dentro de sectores de menor tecnología, tal como lo señalan Eaton y Kortum (2002): “la difusión *instantánea* lleva a una especialización ricardiana en los esfuerzos de innovación”. Esto es, la evidencia para el caso de México señala la existencia de una tendencia en la que la mayor investigación se orienta hacia los países con mayores productividades en la investigación.

El modelo utilizado explica que, a través del libre comercio, se han incrementado los esfuerzos bilaterales en innovación. La integración comercial ha ofrecido a los investigadores, en ambos países, mayores mercados para sus innovaciones, llevando a un aumento sostenido en el número de investigadores. Por ende, dada la cantidad de difusión, un estrechamiento de la relación comercial puede llevar a una mayor especialización en la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Aghion, P. y P. Howitt (1992), “A Model of Growth through Creative Destruction”. *Econometrica*, vol. 60-2, The Econometric Society.
- Álvarez, F. y R. Lucas Jr. (2006), *General Equilibrium Analysis of the Eaton-Kortum Model of International Trade*, University of Chicago, USA.

- Coe, D. y E. Helpman (1995), "International R&D Spillovers", *European Economic Review*, vol. 39.
- Cuthbertson, K., S. Hall y M. Taylor (1992), *Applied Econometric Techniques*, The University of Michigan Press.
- Deardorff, V. (2007), *The Ricardian Model*, University of Michigan, USA.
- Dornbusch, R., S. Fischer y P. Samuelson (1977), "Comparative Advantage, Trade, and Payments in a Ricardian Model with a Continuum of Goods", *American Economic Review*, 67.
- Eaton, J. y S. Kortum (1996), "Technology and Bilateral Trade", Seminar Paper 96-18 CIES.
- Eaton, J. y S. Kortum (1999), "International Technology Diffusion: Theory and Measurement", *International Economic Review*, Department of Economics, University of Pennsylvania vol. 40-3.
- Eaton, J. y S. Kortum (2002), "Technology, Geography, and Trade", *Econometrica*, vol. 70.
- Eaton, J. y S. Kortum (2007), "Innovation, Diffusion, and Trade", en *Entrepreneurship, Innovation, and the Growth Mechanism in the Free-Enterprise Economics*, editado por E. Sheshinski, R. Strom y W. Baumol, Princeton University Press.
- Engle, R., D. Hendry y F. Richard (1983), "Exogeneity", *Econometrica*, vol. 51-2. The Econometric Society.
- Fransman, M. y K. King (1984), *Technological Capability in the Third World*, London: Macmillan.
- Greenhalgh, C. (1990), "Innovation and Trade Performance in the United Kingdom", *Economic Journal*, vol. 100.
- Grossman, G. y E. Helpman (1991a), *Innovation and Growth in the Global Economy*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Grossman, G. y E. Helpman (1991b), "Trade, Knowledge Spillovers and Growth", *European Economic Review*, vol. 35.
- Grossman, G. y E. Helpman (1995), "Technology and Trade", CEPR Discussion Paper no. 1134, London, Center for Economic Policy Research.

- Harris, R. (1995), *Using Cointegration Analysis in Econometric Modelling*, London: Prentice Hall Harvester Wheatsheaf.
- Helpman, E. y P. Krugman (1985), *Market Structure and Foreign Trade: Increasing Returns, Imperfect Competition and International Economy*, MIT Press. USA.
- International Economic Review, Department of Economics, University of Pennsylvania vol. 40-3.
- Johansen, S. (1988), "Statistical Analysis of Cointegration Vectors", *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 12-3.
- Johansen, S. (1995), *Likelihood-Based Inference in Cointegrated Vector Autoregressive Models*, Oxford:Oxford University Press.
- Johansen, S. y K. Juselius (1990), "Maximum Likelihood Estimation and Inference on Cointegration-With Applications to the Demand for Money", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, vol. 52-2.
- Kortum, S. (1997), *A Model of Research, Patenting, and Productivity Growth*, Boston University-Institute for Economic Development.
- Krugman, P. (1979), "Increasing Returns, Monopolistic Competition, and International Trade", *Journal of International Economics*, vol.9.
- Lefebvre, E., M. Bourgault y L. Lefebvre (1998), "R&D Related Capabilities as Determinants of Export Performance", *Small Business Economics*, vol. 10.
- Matsuyama, K. (1999), *A Ricardian Model with a Continuum of Goods Under Nonhomothetic Preferences: Demand Complementarities, Income Distribution, and North-South Trade*, Northwestern University, USA.
- Posner, V. (1961), "International Trade and Technical Change", *Oxford Economic Papers*, vol. 3.
- Vernon, R. (1966), "International Investment and International Trade in the Product cycle", *Quarterly Journal of Economics*, vol. 80.
- Wakelin, K. (1998), "Innovation and Export Behavior at the Firm Level", *Research Policy*, vol. 26.