

LA TECNOLOGÍA EN LA EDUCACIÓN Y EL CRECIMIENTO DE LOS PAÍSES DE LATINOAMÉRICA. PARTE 3

M. en C. Laura Guadalupe Flores Negrete
Instituto Politécnico Nacional

Introducción

En la revolución industrial los grandes campos de avance en esta etapa fueron:

Los textiles. Las innovaciones introducidas en la fabricación de textiles, especialmente los de algodón, fueron el eje de la Revolución Industrial. Una oleada de inventos revolucionó los procesos del hilado, el tejido y la estampación. El tiempo que necesitaba un trabajador para hilar una libra de algodón se multiplicó por 125 entre 1770 y 1841, y los precios cayeron. Como consecuencia, el uso de ropa interior se convirtió por primera vez en algo habitual.

La energía. El viento, el agua, los animales y la fuerza del hombre habían sido las únicas fuentes de energía mecánica durante milenios. La máquina de vapor, en la que la quema de combustible producía vapor que impulsaba un pistón, representó una revolucionaria ruptura del pasado. La utilización de la máquina de vapor aprovechó la inmensa energía química que contenían los yacimientos de carbón como fuente de energía mecánica. Entre 1750 y 1850, la producción británica de carbón se multiplicó por diez. Las máquinas de vapor también revolucionaron el transporte, comenzando por el barco de vapor de Robert Fulton en 1807 y extendiéndose más tarde a los ferrocarriles (el primer ferrocarril de vapor se echó a andar en 1825).

La metalurgia. La sustitución general de la madera por el carbón como fuente y combustible en la fundición de hierro, así como algunas importantes innovaciones técnicas, redujeron espectacularmente el costo de la producción de hierro. Esta producción, que se había mantenido relativamente constante durante los últimos doscientos años, aumentó de 34,000 toneladas en 1769 a 680,000 en 1830 y 5,960,000 en 1870. El hierro se utilizaba a su vez para construir edificios, puentes y ferrocarriles. Hacia 1825, Inglaterra, que tenía un 2 por ciento de la población mundial, estaba produciendo la mitad del hierro mundial.

Estos cambios de la tecnología de producción fueron acompañados de cambios en la estructura global de la economía y del entorno en el que trabajaba y vivía la población. Entre 1760 y 1831, la proporción de la población trabajadora británica que se ocupaba de la agricultura, la silvicultura y la pesca se redujo a la mitad, pasando del 48 al 15 por ciento, mientras que la proporción que trabajaba en la industria y la minería aumentó del 22 al 41 por ciento. La proporción de la población británica que vivía en ciudades aumentó de un sexto a un medio entre 1700 y 1850. Para transportar los productos alimenticios, las materias primas y los productos acabados por una economía nacional cada vez más integrada, entre 1750 y 1825 se construyeron en Gran Bretaña unos 4,000 kilómetros de canales.

¿Cómo afectó la Revolución Industrial al crecimiento económico de Gran Bretaña? Uno de los aspectos que más llaman la atención es que, a pesar de los grandes cambios tecnológicos de la Revolución Industrial, el ritmo de crecimiento económico fue bastante lento para los parámetros modernos. Por ejemplo, entre 1801 y 1831, periodo durante el cual Gran Bretaña pasó a ser la principal potencia política y económica del mundo, el PIB per cápita solo creció un 0.5 por ciento al año y la productividad solo un 0.4 por ciento al año, tasas que hoy en día consideraríamos pésimas.

Desarrollo

0.1 El progreso tecnológico desde la Revolución Industrial

Durante 1879 hasta 1999, los Estados Unidos sobrepasó a Gran Bretaña y se convirtió en el país más rico y más avanzado del mundo desde el punto de vista tecnológico.

Una de las tendencias que más llamó la atención es el periodo de elevado crecimiento de la productividad total de los factores que duró desde 1890 hasta 1972. Durante este notable periodo, que duró aproxima-

damente lo que dura una vida humana, la vida diaria en los países más desarrollados se transformó más espectacularmente que nunca. Entre los cambios más importantes se encuentran la luz eléctrica, la refrigeración, el aire acondicionado, el teléfono, el automóvil, los viajes en avión, la radio, la televisión y las cañerías interiores. Muchas de estas tecnologías ya se habían inventado en el siglo XIX, pero tardaron varias décadas en extenderse a la economía en su conjunto, proceso que se conoce con el nombre de difusión. Por ejemplo, la bombilla eléctrica se inventó en 1879, pero hacia 1899 solo el 3 por ciento de los hogares estadounidenses tenía luz eléctrica. Tardó otras tres décadas, hasta 1929, en llegar al 70 por ciento de los hogares.

La segunda tendencia que se observa es la espectacular reducción del crecimiento de la productividad a principios de los años 70. El crecimiento de la productividad, que había sido en promedio de un 1.19 por ciento al año entre 1890 y 1971, cayó a una tasa anual de un 0.55 por ciento entre 1972 y 1995. Esta desaceleración de la productividad, que no solo se registró en los Estados Unidos sino en todo el mundo desarrollado, fue uno de los fenómenos más desconcertantes del periodo posterior a la Segunda Guerra Mundial. Muchos observadores temían que el rápido progreso tecnológico que había contribuido tanto a mejorar los niveles de vida hubiera concluido bruscamente.

¿A qué se debió la desaceleración de la productividad? Considerando que la productividad no es lo mismo que la tecnología: a largo plazo, es evidente que el crecimiento de la productividad se debe principalmente a las mejoras de la tecnología, pero en cualquier periodo de tiempo la productividad puede experimentar cambios que tienen mucho más que ver con la organización de la economía que con los cambios de la tecnología; en otras palabras, con los cambios de lo que hemos llamado eficiencia. Por lo tanto, el hecho de que el crecimiento de la productividad se desacelerara en las décadas de 1970 y 1980 no significa necesariamente que la tasa de crecimiento de la tecnología cayera. De hecho, existen fundadas razones para pensar que el periodo en el que se desaceleró la productividad es un periodo en el que disminuyó la eficiencia de la economía de los Estados Unidos. Las grandes subidas del precio del petróleo de 1973 y 1979 sumieron a las economías de todos los países industriales en el caos. Hubo dos grandes recesiones, una en 1974 y otra en 1981--1983, que dejaron parada una significativa proporción del stock de capital. Tanto la inflación como el desempleo alcanzaron un máximo desde la Segunda Guerra Mundial. Estos datos sobre la productividad podrían indicar que los cambios negativos de la eficiencia de la producción deshicieron el progreso tecnológico positivo.

El último aspecto que llama la atención es que a partir de mediados de los años 90 la tendencia experimentó otro cambio y el crecimiento de la productividad aumentó, sobrepasando los niveles en que se encontraba antes de la desaceleración. Aunque este aparente cambio de sentido se basa en datos de unos cuantos años, ya ha suscitado un gran debate. Algunos economistas ven en estos datos el comienzo de una «Tercera Revolución Industrial», basada en las tecnologías de la información como la informática y las telecomunicaciones. Los escépticos señalan, sin embargo, que aunque el progreso tecnológico en las industrias de la información ha sido impresionante, estas industrias no constituyen por sí solas una proporción muy grande de la economía. Está por verse si la tecnología de la información transforma realmente otros sectores de la economía e influye tanto en la productividad como las generaciones anteriores de progreso tecnológico.

0.2 Tecnologías de Uso General

¿Cómo avanza la tecnología? ¿A un ritmo uniforme o en oleadas? En los últimos años, los economistas que estudian el cambio tecnológico han centrado la atención en la segunda posibilidad: hay ciertas innovaciones tecnológicas trascendentales, las llamadas *tecnologías de uso general*, que cambian totalmente la estructura de la economía. Estas tecnologías, entre las que se encuentran la máquina de vapor, la red eléctrica y los ferrocarriles, tienen dos importantes características. En primer lugar, cambian el modo de producción en muchos sectores de la economía; en segundo lugar, provocan una reacción en cadena de inventos complementarios que aprovechan el nuevo paradigma tecnológico. Como consecuencia de esa cadena de inventos complementarios que sigue su estela, el periodo de crecimiento a que da lugar una sola tecnología de uso general puede durar varias décadas.

El motor eléctrico constituye un buen ejemplo de los trascendentales cambios que trajo consigo una tecnología de uso general. Aunque los motores eléctricos se utilizaron por primera vez en la industria manu-

facturera en 1883, al principio su difusión fue muy lenta. A comienzos del siglo XX, las máquinas de vapor generaban el 80 por ciento de la energía mecánica que se utilizaba en las fábricas de los Estados Unidos. Sin embargo, hacia 1929 los motores eléctricos generaban el 79 por ciento de la energía mecánica.

El primer efecto de la energía eléctrica fue un aumento de la eficiencia energética, pero eso no fue más que el comienzo. Más importante fue el hecho de que la electricidad cambió el propio proceso de producción. En las fábricas que utilizaban máquinas de vapor, una gran máquina de vapor accionaba un árbol de transmisión que daba energía a toda la fábrica; las máquinas eran movidas por correas cuya energía provenía de ese árbol de transmisión. Con este sistema, las máquinas tenían que estar alineadas para poder recibir energía y la máquina de vapor central tenía que funcionar mientras hubiera alguna máquina en funcionamiento. Cuando aparecieron los motores eléctricos, la máquina de vapor central fue sustituida inicialmente por un motor eléctrico de parecida potencia. Sin embargo, con el tiempo los ingenieros se dieron cuenta de que la utilización de motores eléctricos les permitiría cambiar radicalmente la organización de la fábrica. Cuando las máquinas se alimentaron con motores individuales más pequeños, los ingenieros pudieron organizar las fábricas de manera que se utilizara más eficientemente el capital, el trabajo y las materias primas, en lugar de diseñar la organización en torno a un árbol de transmisión que llevaba a una máquina de vapor. Entre 1899 y 1929, la producción por hora aumentó en la industria manufacturera a una tasa de un 2.6 por ciento al año. El uso de motores individuales también ahorró más energía, ya que no era necesario que estuviera funcionando un gran motor central cuando solo se utilizaban unas cuantas máquinas.

La tecnología de uso general más reciente es el semiconductor (es decir, el transistor y el circuito integrado), que constituye la base de las computadoras modernas. Al igual que ha ocurrido con otras tecnologías de uso general, la difusión inicial del semiconductor fue lenta (los primeros productos que incorporaron transistores, a principio de los años 50, fueron los audífonos). Sin embargo, las computadoras basadas en semiconductores han penetrado con el paso del tiempo en casi todos los sectores de la economía. Pero mientras se difundían por toda la economía en la década de 1980, la tasa de crecimiento de la productividad seguía siendo desalentadoramente lenta. En 1987, el economista Robert Solow comentó desesperadamente que «en todas partes se ve la era de la computadora, salvo en las estadísticas de productividad». El hecho de que las computadoras, cada vez más potentes, no aceleraran el crecimiento de la productividad recibió el nombre de «paradoja de las computadoras». Finalmente, en la segunda mitad de los años 90 el crecimiento de la productividad se aceleró. Según muchos economistas, esta aceleración se debió a que la computadora se convirtió por fin en un instrumento productivo. De la misma manera que las empresas tardaron décadas en aprender a utilizar los motores eléctricos para modificar sus métodos de producción, necesitaron décadas para aprender a explotar las posibilidades de los semiconductores.

0.3 La función de producción tecnológica

Thomas Edison, que inventó la bombilla eléctrica, el fonógrafo (el primer aparato para grabar sonido) y el cinetoscopio, señaló en una ocasión que «el genio es un uno por ciento de inspiración y un noventa y nueve por ciento de transpiración». Si eso es cierto en el caso de un gran inventor como Edison, aún lo es más en los hombres y las mujeres que son responsables de la mayor parte de la investigación y el desarrollo. En otras palabras, el progreso tecnológico no es espontáneo sino fruto de un esfuerzo deliberado.

La función de producción de tecnología tiene como producción las nuevas tecnologías, y como factores las cosas que utilizamos para crearlas. En una economía moderna, los factores de la función de producción de tecnología son el trabajo y el capital humano de los investigadores, así como el capital (los laboratorios, las computadoras, etc.) que utilizan.

El primer paso para analizar esa función de producción de tecnología es medir la cantidad de factores y la cantidad de producción. Centrando la atención en el periodo posterior a la Segunda Guerra Mundial, la cantidad de factores de producción dedicada a la producción de tecnología se mide como el número de investigadores dedicados a la investigación y el desarrollo en los países del G-5 (los Estados Unidos, el Reino Unido, Francia, Alemania y Japón) en el periodo 1950--1999. El número de científicos dedicados a la I+D se multiplicó por diez durante estos años. La mejor prueba que tenemos de la función de producción de tecnología es la tasa de crecimiento de la productividad. Ésta disminuyó o, en el mejor de los casos, se mantuvo constante en el periodo posterior a la Segunda Guerra Mundial. Aunque el crecimiento de la productividad

es una medida del cambio tecnológico, los datos no indican que la tasa de progreso tecnológico aumentara. Utilizando estos datos para comparar la cantidad de factores y la cantidad de producción de la función de producción de tecnología, se observa un hecho asombroso: la cantidad de factores dedicados al progreso tecnológico ha aumentado considerablemente con el paso del tiempo, mientras que no ha sido así con la tasa de crecimiento de la tecnología.

0.4 La relación entre el nivel de tecnología y el ritmo del progreso tecnológico

«Si he visto más lejos que otros», escribió el matemático Isaac Newton, «es porque iba subido a hombros de gigantes». Newton pensaba que los conocimientos científicos eran acumulativos: actualmente los investigadores comienzan sus investigaciones donde las dejaron las anteriores. Lo mismo ocurre con las tecnologías productivas que interesan a los economistas.

El carácter acumulativo del progreso tecnológico produce efectos tanto positivos como negativos en la facilidad para realizar I+D. Por una parte, actualmente los investigadores tienen más conocimientos en que basarse y una cantidad mayor de herramientas que los anteriores; sería de esperar, pues, que fueran más productivos. Por otra parte, actualmente los investigadores podrían tener más dificultades para hacer descubrimientos o para imaginar nuevas tecnologías simplemente porque ya se han hecho los descubrimientos más fáciles. Este efecto negativo de los descubrimientos anteriores en la facilidad para hacer descubrimientos hoy se llama *efecto de agotamiento*. Además, como hoy se sabe más que antes, un investigador necesita realizar más esfuerzos para aprender todo lo que se necesita para trabajar en la vanguardia.

0.5 Implicaciones para el futuro del progreso tecnológico

Para saber en qué cantidad habrá que aumentar los factores dedicados a la I+D para mantener el nivel actual de progreso tecnológico, podemos analizar los datos históricos. Entre 1950 y 1999, el número de investigadores aumentó en los países del G-5 de 251,000 a 2.5 millones, es decir, se multiplicó por diez en un periodo de 49 años. Si se supone que el ritmo de crecimiento será el mismo en el futuro, quiere decir que para mantener la misma tasa de progreso tecnológico en los próximos 49 años también será necesario multiplicar por diez el número de investigadores, de 2.5 millones en 1999 a 25 millones en 2048. Adentrándonos aún más en el futuro, en 2097 serán necesarios 250 millones de investigadores.

¿Es posible un aumento de esa magnitud o disminuirá inevitablemente el progreso tecnológico? Para responder a esta pregunta, debemos analizar tres fuentes posibles de crecimiento de la cantidad de trabajo dedicada a la I+D.

La población activa total podría crecer. Uno de los factores que permitió que aumentara el número de investigadores en los últimos cincuenta años ha sido la expansión de la población activa, debido al crecimiento de la población y al aumento de la tasa de actividad femenina. Por ejemplo, en los Estados Unidos la población activa pasó de 62 millones a 139 millones entre 1950 y 1999. Aunque la proporción de la población activa dedicada a la I+D se hubiera mantenido constante, el número de investigadores se habría duplicado con creces.

Se prevé que la población crezca significativamente en las próximas décadas en casi ninguno de los países más ricos del mundo, que también son los que se encuentran a la vanguardia de la tecnología y que probablemente no experimentarán de nuevo el tipo de rápido crecimiento demográfico que experimentaron en los siglos XIX y XX. Por tanto, es improbable que el crecimiento de la población aumente mucho en estos países la cantidad de trabajo dedicada a la I+D. Asimismo, el crecimiento de la población activa debido al aumento de la actividad femenina se desacelerará inevitablemente en los Estados Unidos, ya que la tasa de actividad femenina es casi tan alta como la masculina.

La proporción de la población activa dedicada a la investigación podría aumentar. En los Estados Unidos, la proporción de la población activa que se dedica a la I+D aumentó de 0.25 por ciento en 1950 a 0.90 en 1999, y en otros países de vanguardia experimentó un aumento parecido. Este aumento fue aún más responsable del gran incremento del número de investigadores que el aumento de la población activa.

¿Continuará aumentando la proporción de la población activa que realiza I+D? A muy largo plazo, la respuesta tiene que ser evidentemente negativa; es imposible que esa proporción supere el 100 por ciento.

Además, si aceptamos que no todos los miembros de la población activa son capaces de realizar investigación científica, ese límite podría ser muy inferior al 100 por ciento.

El grupo de los países que realizan investigación de vanguardia podría aumentar. La tabla muestra claramente que muchos países que se encuentran a la vanguardia de la investigación son nuevos; Japón, Taiwán, Israel, Corea del Sur y Singapur no se encontraban en ese grupo a mediados del siglo XX. La integración de nuevos miembros en el grupo de países de vanguardia ha aumentado la población de la que pueden salir investigadores. Aún hoy, los países que se encuentran a la vanguardia de la tecnología solo representan un 15 por ciento de la población mundial, por lo que existen fundadas razones para esperar que continúe aumentando el número de países que entren en este grupo.

La conclusión es esperanzadora, en la medida en que no adoptemos una perspectiva excesivamente a largo plazo. Aunque para que continúe el progreso tecnológico hay que dedicar un creciente número de trabajadores a la I+D, no existe ninguna limitación inmediata que impida ese aumento. Dado que solo una pequeña proporción de la población activa de los países desarrollados se dedica actualmente a la I+D y que solo una pequeña proporción de la población mundial vive en países que son líderes tecnológicos, existe un amplio margen para aumentar el número de investigadores.

Cuadro 1 Patentes concedidas en los Estados Unidos: número total y por millón de ciudadanos, 2001

País	Número de patentes	Patentes por millón de ciudadanos
Taiwán	6,545	289.9
Japón	34,891	274.7
Suecia	1,935	217.4
Suiza	1,557	216.3
Israel	1,031	161.1
Finlandia	769	147.9
Alemania	11,895	144.5
Canadá	4,063	130.6
Luxemburgo	48	120.0
Dinamarca	556	103.0
Países Bajos	1,494	93.4
Hong Kong	620	92.5
Corea del Sur	3,763	79.6
Austria	632	78.0
Bélgica	796	77.3
Francia	4,456	75.3
Singapur	304	74.1
Reino Unido	4,356	74.1
Islandia	21	70.0
Noruega	283	62.9
Australia	1,031	53.1
Irlanda	166	43.7
Nueva Zelanda	160	42.1
Italia	1,978	34.2

Conclusiones

Los avances tecnológicos estarán marcados por el interés que presenten el sector privado y público, y en mayor medida por la inversión del capital destinado. El sector público marcará las políticas necesarias para no frenar dicho desarrollo tecnológico, además de motivar la formación de personal tecnológico y científico que promueva la inventiva de tecnologías mediante sus instituciones y centros educativos. Son motivantes los avances tecnológicos, pero ya no es suficiente el análisis de los recursos humanos y financieros; ahora será necesario conocer el impacto que tendrá el uso de las nuevas tecnologías en el medio ambiente.