

AÑADIENDO PELDAÑOS

La tecnología y la ciencia se refuerzan mutuamente para que la economía mundial alcance cotas cada vez más altas

Joel Mokyr

Muchos economistas vienen cuestionando que el progreso tecnológico pueda seguir impulsando la economía ante el menor crecimiento de la población y el aumento de las tasas de dependencia (Gordon, 2016). Según este grupo, los frutos de las ramas más bajas ya han sido recolectados y cada vez será más difícil seguir progresando (Bloom *et al.*, 2017).

Otros lo rebaten diciendo que la ciencia nos permite ir añadiendo peldaños para llegar a los frutos de las ramas más altas, y que gracias a que el conocimiento científico mejora día a día, en un futuro previsible los avances tecnológicos todavía pueden transformar la vida como ocurrió en los 150 años posteriores a la guerra civil en Estados Unidos.

¿Qué hace factible que siga habiendo avances científicos? El progreso tecnológico no solo afecta directamente a la productividad, sino que se convierte en autosuficiente al generar herramientas científicas más potentes. La capacidad humana encuentra limitaciones al realizar mediciones precisas, observar objetos extremadamente



pequeños y superar ilusiones ópticas y sensoriales, o al procesar rápidamente cálculos complejos. En parte, la tecnología está para ayudarnos a superar las limitaciones que nos impone la evolución y conocer fenómenos naturales que no estamos preparados para ver u oír: lo que Derek Price (1984) llama “revelación artificial”. Gran parte de la revolución científica del siglo XVII fue posible gracias a mejores instrumentos y herramientas como el telescopio de Galileo y el microscopio de Hooke.

Análogamente, en la era moderna los avances científicos estuvieron supeditados a las herramientas al alcance de los investigadores. Mejoras en la microscopía y las técnicas de laboratorio permitieron elaborar la teoría microbiana, uno de mayores avances médicos de la historia. En el siglo XX abundan los ejemplos de los efectos de la mejora de las técnicas e instrumentos científicos. Uno de los mayores hitos de la ciencia moderna es la cristalografía de rayos X, una técnica decisiva para el descubrimiento de la estructura y función de muchas moléculas biológicas, entre ellas vitaminas, medicamentos y proteínas. Sin duda, el descubrimiento de la estructura de la molécula de ADN es su aplicación más conocida, pero se ha utilizado en nada menos que otros 29 proyectos ganadores del Nobel.

Entre las herramientas tradicionales que siguen usándose se destaca el microscopio, fundamental dada la tendencia generalizada a la miniaturización; es decir, a comprender y manipular el mundo a niveles cada vez más pequeños. El microscopio de efecto túnel inventado a comienzos de la década de 1980 permitió iniciar los estudios a nivel nanoscópico. Más recientemente, el microscopio de fluorescencia de superresolución de Betzig-Hell —que hizo a sus creadores merecedores del premio Nobel de química— es al microscopio de Leeuwenhoek lo que un dispositivo termonuclear es a un petardo. Lo mismo puede decirse de los telescopios: el revolucionario Hubble pronto será sustituido por el telescopio espacial James Webb, mucho más avanzado.

Dos potentes herramientas científicas disruptivas, disponibles desde hace poco, son la computación rápida (que incluye almacenamiento de datos casi ilimitado y técnicas de búsqueda) y la tecnología láser. Ambas tienen innumerables aplicaciones directas en la producción de bienes de capital y

de consumo. La aplicación de la informática en la ciencia ha ido mucho más allá de los análisis de grandes bases de datos y estadísticas estándares; comienza la era de la ciencia de los datos, donde los modelos se sustituyen por potentes máquinas procesadoras de megadatos. El progreso tecnológico no solo afecta directamente a la productividad, sino que se convierte en autosuficiente al generar herramientas científicas más potentes. Las potentes computadoras utilizan algoritmos de aprendizaje automático para detectar patrones que la mente

El progreso tecnológico no solo afecta directamente a la productividad, sino que se convierte en autosuficiente al generar herramientas científicas más potentes.

humana no puede ni imaginar. La detección de regularidades y correlaciones se confía a potentes computadoras (en vez de modelos), con procesos “tan sinuosos que el cerebro humano no puede ni recordar ni predecir” (Weinberger, 2017, 12).

Pero las computadoras no solo procesan datos, sino que también realizan simulaciones; así, pueden aproximar la solución de ecuaciones muy complejas para estudiar procesos fisiológicos y físicos mal entendidos hasta la fecha, diseñar nuevos materiales y simular modelos matemáticos de procesos naturales que hasta ahora han eludido cualquier intento de solución cerrada. Estas simulaciones han engendrado campos de investigación “computacional” completamente nuevos, donde la simulación y el procesamiento de gran cantidad de datos se complementan, en ámbitos muy complejos. La comunidad científica lleva tiempo soñando con estas herramientas, pero hasta la década actual no podrá aplicarlas a un nivel que sin duda afectará nuestra capacidad tecnológica y, por tanto, la productividad y el bienestar económico.

Mientras que las dos primeras revoluciones industriales estuvieron dominadas por la energía, es muy posible que el futuro sea testigo de avances radicales en el desarrollo de nuevos materiales.

Con la llegada de la informática cuántica, la potencia de cálculo se multiplicará en muchos de estos ámbitos. Del mismo modo, la inteligencia artificial, aunque sigue preocupando que vaya a sustituir a trabajadores profesionales bien formados y no solo al empleo rutinario, podría convertirse en el auxiliar de investigación más eficiente del mundo, sin llegar a ser el mejor de los investigadores (*Economist*, 2016, 14).

La tecnología láser es una herramienta científica igualmente revolucionaria, aunque al principio sus creadores la consideraron una técnica “en busca de una aplicación”. En la década de 1980, el láser ya se utilizaba para refrigerar micromuestras a temperaturas muy bajas, lo cual permitió grandes avances en Física. Actualmente, se utiliza en un amplio abanico de ámbitos científicos. Una de sus principales aplicaciones es la espectroscopia de plasma inducido por láser, una herramienta muy versátil utilizada en muchos ámbitos que requieren un rápido análisis químico a nivel atómico, sin preparación de la muestra. La tecnología “lídár” es una técnica topográfica basada en láser que permite crear imágenes tridimensionales muy detalladas para su uso en geología, sismología, teledetección y física atmosférica; ha servido para revisar radicalmente al alza nuestras estimaciones sobre el tamaño y la sofisticación de la civilización precolombina maya en Guatemala. Además, el láser es una herramienta mecánica que permite extirpar (eliminar) materiales para su análisis. La ablación láser permite extirpar cualquier tipo de muestra sólida, sin limitaciones de tamaño ni necesidad de preparar la muestra, y el interferómetro láser detecta las ondas gravitatorias planteadas por Einstein, uno de los descubrimientos más esperados en física moderna.

El siglo de la biología

Pero esto no es todo. Como dijo Freeman Dyson, si el siglo XX fue el siglo de la física, el siglo XXI será el de la biología. Los recientes avances en biología

molecular y genética implican cambios revolucionarios en la capacidad del ser humano de manipular otros seres vivos. Se destacan el descenso del costo de secuenciar genomas: de USD 95 millones por genoma en 2001 a USD 1.250 en 2015, a un ritmo que hace que la Ley de Moore parezca lenta.

Especialmente prometedora es la técnica para *editar* un par de bases de una secuencia genética, gracias a la mejora reciente de las técnicas CRISPR Cas9. Cabe mencionar también la biología sintética, que permite fabricar productos orgánicos sin intermediación de organismos vivos. Desde hace una década, ronda la idea de sintetizar proteínas *in vitro*, aunque su potencial no se ha difundido hasta hace poco y tardará años en materializarse.

Relación simbiótica

A pesar de lo que diga el Eclesiastés, hay muchas cosas totalmente nuevas bajo el sol. Mientras que las dos primeras revoluciones industriales estuvieron dominadas por la energía, es muy posible que el futuro sea testigo de avances radicales en el desarrollo de nuevos materiales. Los historiadores tienden a llamar a las épocas económicas según la materia prima dominante (“edad de bronce”). Muchos de los proyectos tecnológicos del pasado no pudieron llevarse a cabo porque los materiales a disposición de los inventores no eran los adecuados para hacer realidad sus diseños. Los actuales avances en el campo de la ciencia de los materiales permiten crear nuevos materiales sintéticos que la naturaleza nunca concibió. Estos materiales artificiales, desarrollados a nivel nanotecnológico, prometen crear otros con propiedades a la medida en términos de dureza, resiliencia, elasticidad, etc. Nuevas resinas, cerámica avanzada, nuevos sólidos y nanotubos de carbono: todos ellos están en proceso de desarrollo o perfeccionamiento.

La inteligencia artificial, el láser y la ingeniería genética parecen reunir los requisitos de las tecnologías de utilidad general por sus muchas aplicaciones y usos en producción e investigación.

Suele considerarse que estas tecnologías —como el aprendizaje automático— tardan tiempo en afectar a la economía en general, porque por definición requieren innovaciones e inversiones complementarias. Aun así, auguran cambios transformadores de la condición humana en muchas dimensiones.

No es posible realizar predicciones tecnológicas con certeza absoluta e, inevitablemente, se producirán avances que nadie espera, mientras que otros progresos prometedores no darán los frutos esperados. Pero el futuro avance de la tecnología a velocidad vertiginosa no depende de un solo ámbito, sino que se basa en la observación de que tecnología y ciencia evolucionan en simbiosis, al proporcionar a los investigadores herramientas mucho más potentes. Algunas de ellas existen en forma más primitiva desde hace siglos; otras son innovaciones radicales sin un precursor definido.

Como los nuevos instrumentos y herramientas del siglo XVII propiciaron la revolución científica y la era del vapor y la electricidad, las potentes

computadoras, el láser y muchas otras herramientas de nuestra época darán lugar a avances tecnológicos tan inimaginables como lo habría sido la locomotora para Galileo. **FD**

JOEL MOKYR es Profesor de la cátedra Robert H. Strotz de Northwestern University.

Este artículo se basa en el documento titulado "The Past and the Future of Innovation: Some Lessons from Economic History", de próxima publicación en Explorations in Economic History.

Referencias:

Bloom, Nicholas, Charles I. Jones, John Van Reenen y Michael Webb. 2017. "Are Ideas Harder to Find?". Documento de trabajo inédito, Stanford University, Stanford, CA.

Economist. 2016. "The Return of the Machinery Question". 25 de junio, 1-14.

Gordon, Robert J. 2016. *The Rise and Fall of American Growth*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Price, Derek J. de Solla. 1984. "Notes towards a Philosophy of the Science/Technology Interaction". Publicado en *The Nature of Knowledge: Are Models of Scientific Change Relevant?* Editado por Rachel Laudan. Dordrecht, Países Bajos: Kluwer.

Weinberger, David. 2017. "Alien Knowledge: When Machines Justify Knowledge."

FONDO MONETARIO INTERNACIONAL PODCASTS

