

CIENCIA, TECNOLOGIA Y DESARROLLO

Por Diego Pizano Salazar*

I. Introducción

Es para mí un verdadero honor tener la oportunidad de formular ante esta distinguida audiencia unos breves comentarios sobre la relación entre el desarrollo científico, la evolución de la tecnología y el proceso de desarrollo socioeconómico. Debo aclarar desde un comienzo que, no soy ningún experto en el área de la biología molecular y que mi visión de la ciencias ha sido influida por múltiples conversaciones sostenidas con el doctor Gerard Bricogne (ilustre físico, químico y cristalógrafo) en la Universidad de Cambridge y con el doctor Elkin Patarroyo de la Universidad Nacional de Colombia. También debo anotar que tuve el privilegio hace unos pocos años de discutir personalmente sobre la evolución de la ciencia con ese gran filósofo que es el profesor Karl Popper.

Aun explicando estos antecedentes no es obvio que un economista como el suscrito pueda decir algo coherente sobre un tema tan amplio como es el de la ciencia, la tecnología y el desarrollo. Estoy consciente de las limitaciones que enfrento en esta ambiciosa tarea. Pero tal vez es útil recordar que la existencia misma de la disciplina de la economía se desprende de uno de los grandes principios derivados de las ciencias naturales: La Ley de la Entropía. Como es bien conocido, la entropía es un índice de la cantidad relativa de energía limitada ("bound energy") que existe en una estructura aislada. La escasez económica surge de la irrevocabilidad del proceso entrópico como lo explica muy claramente el importante profesor Georgescu-Roegen (1). Si no existiera ese continuo proceso de degradación cualitativa de la energía, los recursos naturales se podrían reciclar indefinidamente y no existiría ningún límite al crecimiento económico continuo. El conocido profesor Lotka, de principios del siglo, decía con mucha razón que el proceso económico no era sino una continuación del proceso biológico. La ley de la entropía condiciona también el desarrollo biológico y como lo han señalado varios pensadores, esta ley no se opone al concepto de la evolución.

Economía, biología y evolución

Este concepto de la evolución es de la mayor importancia tanto en la biología como en la economía. Aun más, como lo anotó el profesor Schumpeter de Harvard hace más de cuarenta años, es muy posible que la evolución del cerebro humano haya

sido una respuesta de nuestro organismo frente al problema económico. En la lucha darwiniana por la supervivencia, el hombre inventó herramientas físicas y desarrolló el lenguaje, lo cual claramente debió estimular la evolución del cerebro. Si esto pudiera demostrarse rigurosamente, se podría decir que el origen más remoto de la ciencia fue la limitación de recursos económicos frente a las múltiples necesidades de nuestra especie. Ante ese desafío el hombre se vio forzado a desarrollar su imaginación. Naturalmente, surge en forma inmediata el interrogante de ¿por qué otras especies no reaccionaron en forma similar? Ese es un tema complejo que se lo dejamos a los biólogos evolutivos.

Otro ejemplo que aproxima los procesos biológicos y los procesos económicos es el relativo a la aplicabilidad de la teoría de juegos del profesor Von Newman en los dos contextos. La teoría de juegos ha mostrado ser una herramienta útil para entender la competencia oligopolística que se presenta, por ejemplo, en el mercado mundial del café y el mercado mundial del petróleo. Ahora bien, el profesor Smith de Sussex ha escrito un libro (2) recientemente en el cual demuestra la utilidad de la teoría de juegos para entender problemas evolutivos tales como la competencia territorial, la competencia por los recursos a disposición de una determinada población y las relaciones entre padres e hijos. Al reemplazar el concepto de racionalidad económica por el de estabilidad evolutiva, el profesor Smith concluye que la teoría de juegos puede ser inclusive más aplicable a la biología y a la etología que a la economía. Yo le diría que también es paradójico comprobar que el concepto de evolución es más fácilmente aplicable a la economía que a la biología, entre otras razones, por la diferente escala de tiempo. Mientras se requieren miles de años para ciertos procesos evolutivos de tipo biológico, el ciclo de vida de un proceso económico puede ser de meses o de años (el ciclo de vida de un nuevo producto, por ejemplo); claro está que se podría argumentar que la ingeniería genética está en capacidad de acelerar enormemente esos procesos evolutivos pero éste también es un tema que escapa al alcance de estas breves notas.

* Secretario Económico de la Presidencia de la República. Intervención en el simposio "Perspectivas de Salud para el Año 2000". Bogotá, noviembre 5 de 1984.

(1) N. Georgescu-Roegen, "The Entropy Law and the Economic Process". Harvard, 1971.

(2) J.M. Smith, "Evolution and the Theory of Games". Cambridge, 1982.

En síntesis, pienso que no sería exagerado afirmar que la biología, la economía y la medicina tienen conexiones importantes y no sería absurdo escribir un tratado sobre las bases biológicas del comportamiento económico o alternatively uno sobre las bases económicas de la evolución biológica.

Para algunos escritores de "best-sellers" como Alvin Toffler, estamos entrando en una nueva etapa de la economía mundial al pasar de un sistema dominado por grandes empresas industriales a uno dominado por los servicios y la informática. Es evidente que existen tendencias fuertes en esa dirección. No obstante, todo parece indicar que el impacto de la biotecnología puede ser tan importante o aún más importante que el impacto de la informática en la estructura del sistema económico internacional en los próximos veinte años. La agricultura, la energía, el control ambiental y la salud pueden derivar enormes beneficios de la biotecnología y de la ingeniería genética. Pero ¿cómo es esa relación entre el descubrimiento científico, la aplicación tecnológica y el desarrollo económico? Ese es el tema de la siguiente sección.

Ciencia, tecnología y desarrollo

La tecnología es la fuente básica del crecimiento económico, si se entiende por este concepto el conocimiento que está incorporado en los equipos productivos y en las mentes de los agentes humanos que intervienen en el proceso.

El ritmo de la innovación tecnológica parece estar asociado, y directamente, con el progreso de la ciencia. Al mismo tiempo, a medida que crece la productividad general del trabajo en una economía existen mayores recursos para financiar centros de investigación científica a nivel básico y a nivel aplicado y eso, naturalmente, facilita el proceso de innovación tecnológico en la industria. Las empresas agrícolas e industriales a su vez, son una especie de laboratorios permanentes de experimentación y es frecuente que de allí salgan problemas y sugerencias de interés para el científico y para el tecnólogo. En otras palabras, estamos ante un proceso de causación acumulativa en el cual la ciencia refuerza la tecnología y ésta a su vez acelera el ritmo de cambio estructural en el sistema económico. Este cambio genera excedentes económicos que son reinvertidos en el sistema científico y económico. Esta es apenas una descripción del tipo de conexiones que existen entre la ciencia, la tecnología y el desarrollo.

Para profundizar en la **naturaleza** de esa relación existen básicamente dos enfoques: el enfoque teórico y el enfoque histórico. Discutamos en forma sintética estos dos caminos de exploración.

El enfoque teórico

Ante la dificultad de integrar el cambio tecnológico en las funciones de producción, muchos economistas teóricos lo han considerado como una varia-

ble exógena al sistema productivo. Esto es resultado de la dificultad de representar el cambio tecnológico como un proceso lineal o un proceso exponencial continuo. Esto es particularmente cierto a nivel de una firma individual en la cual el ritmo de introducción de nuevas técnicas es relativamente errático. A nivel agregado ha habido varios intentos de integrar el cambio tecnológico como pasamos a comentar.

Una de las teorías de la innovación más conocidas es la del profesor Schumpeter. Este ilustre economista consideraba que la principal causa de la inestabilidad del sistema capitalista y de los ciclos económicos era el cambio tecnológico. El responsable de impulsar la adopción de nuevas técnicas en su sistema conceptual es el empresario quien en su opinión se convertía así en el motor del proceso de crecimiento económico.

Según Schumpeter, los empresarios muestran particular interés por mejorar sus técnicas de producción en fase depresiva del ciclo económico. Según él, esto se debe a que en las malas épocas, los empresarios deben hacer esfuerzos dramáticos para minimizar sus costos, pues de lo contrario no podrían sobrevivir. En el caso del sector cafetero colombiano, tuve la oportunidad de someter esta hipótesis a una prueba empírica (3). En este sector se registró un importante cambio tecnológico en la década de los setenta que llevó a un incremento notable de la producción por hectárea y al mismo tiempo aumentó la generación de empleo. Este fenómeno se produjo como resultado de la adopción de una nueva variedad de planta que utiliza mayores niveles de fertilizantes y desarrolla una actividad fotosintética mucho más intensa. Pues bien, en contra de la teoría de Schumpeter, los pequeños y medianos empresarios de nuestro sector cafetero decidieron adoptar esta técnica en la fase ascendente del ciclo económico a partir del momento en que se inició la bonanza cafetera de 1975-1978. La razón es clara: la introducción de la nueva tecnología requería una fuerte inversión inicial y los empresarios no tuvieron suficientes recursos para llevarla a la práctica sino en la época de buenos precios. Este caso concreto ilustra lo difícil que es postular una función de producción que incorpore el ritmo de innovaciones tecnológicas como una variable endógena. Diversas escuelas de pensamiento, desde la escuela marxista, la escuela neoclásica, la escuela keynesiana y la escuela estructuralista latinoamericana han intentado construir modelos que buscan integrar la función de innovación y/o la función de investigación científica a las funciones que describen la operación del sistema productivo. No obstante, ninguna ha logrado tener un alto grado de poder explicativo

(3) D. Pizano. "Tecnificación, Empleo e Ingreso Rural". Revista Nacional de Agricultura. Bogotá, mayo de 1982.

sobre todo a nivel de la relación que puede existir en un momento dado entre la inversión en ciencia básica y la tasa de crecimiento económico. Nadie parece estar en capacidad de predecir con exactitud qué le puede pasar a la tasa de crecimiento económico si una sociedad decide duplicar su nivel de inversión en ciencia básica. Se sabe que existe una relación importante pero no parece ser posible cuantificarla a priori de manera muy precisa.

Estos comentarios me conducen a la refutación del historicismo del profesor Karl Popper. Este pensador, considerado por muchos académicos como el más importante filósofo de la actualidad, argumenta que es imposible predecir el curso futuro de la historia humana por razones estrictamente lógicas. Su "teorema de imposibilidad" está basado en tres proposiciones básicas:

1. La trayectoria de la historia humana está estrechamente relacionada con el crecimiento del conocimiento humano.

2. No estamos en capacidad de predecir por métodos racionales o científicos, el crecimiento futuro de nuestro conocimiento científico.

3. No podemos predecir por lo tanto la trayectoria futura de la historia humana.

Este teorema implica que no es posible derivar leyes de la historia humana y que nunca podremos tener una historia teórica paralela a la física teórica. Siempre estaremos sujetos a sorpresas científicas y tecnológicas. Ahora bien, este teorema me parece de la mayor importancia pero no estoy convencido de que el profesor Popper lo haya demostrado con argumentos estrictamente lógicos. En la discusión que tuve el privilegio de desarrollar con él en su casa hace unos pocos años, le observé que la primera proposición no era de naturaleza lógica sino de naturaleza histórica. En cierta forma, él está utilizando una especie de ley del desarrollo histórico cuando afirma que existe una estrecha relación entre la trayectoria de la historia humana y el crecimiento del conocimiento científico.

En cierta manera, él está anticipando que el conocimiento científico seguirá creciendo y seguirá siendo uno de los motores básicos de la historia humana. Esto implica que está utilizando un tipo de ley histórica que él mismo señala como imposible de postular. El profesor Popper me señaló que consideraba esta crítica válida aun cuando le dolía que le aplicaran sus propios principios sobre su propio material. Estuvo de acuerdo en el sentido de que la primera proposición no es de carácter lógico y que realmente lo que refleja es una generalización histórica bien conocida. Por otra parte, él tiene la convicción de que el conocimiento científico seguirá creciendo por muchos años dado el estado tan grande de nuestra ignorancia sobre múltiples temas. Sin embargo, reconoce que esta convicción no la puede demostrar

en forma científica. Con esta precisión queda claro que no podemos introducir una función determinista para mantener en un sistema de ecuaciones la relación exacta entre ciencia, tecnología y desarrollo. Lo que sí podemos es tratar de visualizar la naturaleza de esta relación analizando brevemente la experiencia de países como China y Japón.

Algunas referencias históricas

China

Como es de conocimiento general, este país ha aportado algunos de los descubrimientos que más han influido en la historia mundial, tales como: la pólvora, la brújula, la imprenta y el arado. No obstante, como lo ha venido demostrando el profesor Needham (4) en más de cuarenta años de investigación sobre el desarrollo de la ciencia y la tecnología en China, existe un conjunto de explicaciones religiosas, filosóficas, políticas, económicas y sociales que condicionaron el desarrollo científico de ese país y lo alejaron del camino de la ciencia occidental moderna.

En épocas más recientes, el establecimiento científico y tecnológico de la China sufrió las consecuencias de la Revolución Cultural y con excepción del programa de investigación militar, la mayor parte de los profesionales dedicados a la investigación no pudieron continuar desarrollando sus trabajos normalmente.

Hace tres semanas estuve visitando diversas ciudades de la China y pude comprobar en diferentes oportunidades que la ciencia y la tecnología son la base del programa de modernización del país. Se han aumentado en forma substancial los presupuestos para los científicos naturales y los sociales, se han adquirido sofisticados equipos y se ha fortalecido enormemente la base científica y tecnológica del país. Esta política ha sido impulsada especialmente por el gran orientador de la China Moderna Deng Xiaoping (5). En 1978 Deng instaló la Conferencia Nacional de Ciencias Naturales a la cual asistieron cerca de 6.000 científicos chinos. En esa Conferencia se fijaron ocho áreas prioritarias: agricultura, energía, materiales, computadores, rayos laser, espacio, física de alta energía e ingeniería genética. De acuerdo con estadísticas oficiales, hoy en día hay más de 300.000 investigadores científicos trabajando activamente en las áreas prioritarias. En algunos campos se comienzan a registrar innovaciones interesantes. No obstante, todavía subsiste un cierto retraso científico y tecnológico con respecto a otras naciones y el gobierno hace todo lo que está a su alcance para cerrar esa brecha. Esta experiencia es obviamente interesante para los países en desarrollo.

(4) J. Needham. "Science and Civilization in China". Cambridge University Press. 1962-1981.

(5) Ver su intervención en la Conferencia Científica Nacional en: "Selected Works of Deng Xiaoping". Pekín, 1984.

Japón

Quisiera hacer referencia al caso del Japón ya que el llamado milagro económico japonés tiene una relación muy estrecha con la política científica y tecnológica que el país ha aplicado en los últimos cien años.

Como es de conocimiento general, Japón se dio cuenta desde hace varias décadas que existe una secuencia de desarrollo científico y tecnológico que hace posible en el mediano y largo plazo crear la infraestructura necesaria para endogenizar el proceso de generación de nuevos conocimientos. Esta secuencia consiste en identificar las siguientes etapas: formación de profesionales, selección de tecnologías, adopción, adaptación, innovación y generación de nuevas tecnologías. Un país no puede aspirar a crear en el corto plazo las condiciones necesarias para la adopción de nuevas técnicas y para impulsar la ciencia básica. Este es un proceso de varias décadas en el cual se requiere la intervención activa del gobierno para asegurar que exista un desarrollo balanceado de la ciencia y la tecnología. Un factor institucional curioso del caso japonés es que antiguos guerreros de la clase Samurai se interesaron por la ciencia y la tecnología desde la restauración Meiji como lo explica el profesor Nakayama de la Universidad de Tokio (6).

Otra característica interesante de este caso es que el apoyo inicial del proceso vino del sector público pero, gradualmente, el sector privado comenzó a apoyar la investigación científica y tecnológica hasta el punto de que hoy en día es la mayor fuente de recursos.

Japón ha logrado integrar un sistema científico y tecnológico viable con su sistema productivo. La gran mayoría de los países en desarrollo no ha logrado hacerlo, entre otras razones, porque no cuenta con comunidades científicas y tecnológicas suficientemente grandes para desarrollar esfuerzos complementarios. Un científico aislado no trabaja bien y no puede aprovechar las ventajas derivadas del llamado "synergism".

El desequilibrio científico y tecnológico

Tal vez una de las mayores diferencias entre los países del Norte y los del Sur es la disparidad científica y tecnológica entre las dos áreas. El 95% de la investigación científica actual está concentrada en los países del Norte. Mientras en un país desarrollado promedio puede haber 100-120 científicos e ingenieros por cada 10.000 habitantes, en Asia no hay sino 22, en América Latina 69 y en África 6. Si esta comparación se hace a nivel de científicos dedicados de tiempo completo a la investigación, en los países desarrollados hay 10.4 por cada 10.000 habitantes, mientras en África no hay sino 35, en Asia 1.6 y en América Latina 1.15 (cifras de la UNCTAD).

Esta brecha científica y tecnológica es responsable en un grado significativo por la diferencia en nivel de vida entre las dos áreas. En efecto, existe una fuerte correlación entre el número de científicos e ingenieros y la producción **per cápita**.

Mientras el proceso científico y tecnológico tiende a ser endógeno en el Norte, en el Sur es en buena medida, exógeno, es decir, los conocimientos y las técnicas de producción tienen un alto contenido importado. La pregunta obvia en este contexto sería: ¿Cómo puede promoverse la endogenización de la ciencia y la tecnología en los países en desarrollo? Esta es una pregunta compleja que traté de contestar hace algunos años en un documento (7) que me fue solicitado con motivo de la Conferencia Internacional sobre Ciencia y Tecnología de las Naciones Unidas. Para alcanzar esta meta se requerirían ajustes en diversos sistemas, tales como el sistema agrícola internacional, el sistema financiero internacional, el sistema de patentes, el sistema de control al armamentismo, etc. Habría que promover una nueva distribución internacional del trabajo y se requeriría un fondo internacional para apoyar el fortalecimiento de la ciencia y la tecnología en los países en desarrollo. No puedo entrar en detalle en todos estos grandes temas. Lo que sí quisiera destacar es que parece existir un desequilibrio creciente en el comercio de bienes intensivos en ciencia y tecnología (productos químicos, maquinaria, etc.) entre el Norte y el Sur. La trayectoria de esta serie se ajusta a una curva de tipo exponencial lo que sugiere que la distancia científica y tecnológica entre el Norte y el Sur continúa creciendo. En la citada conferencia de Naciones Unidas se mostró preocupación por esa tendencia y se acordó, en principio, crear un fondo no inferior a US\$500 millones para apoyar a los países en desarrollo. Este fondo todavía no es una realidad y todo parece indicar que su puesta en marcha será lenta.

Mientras se aprueban ese tipo de iniciativas no tenemos otra alternativa que intensificar la cooperación entre científicos de diversas nacionalidades y hacer un gran esfuerzo por formar nuevos investigadores. Este simposio es útil para esos dos propósitos y por eso para mí ha sido un placer el haber colaborado modestamente en su organización.

Muchas gracias.

(6) S. Nakayama. "Science and Technology in Modern Japanese Development". Ensayo publicado en W. Beranek y G. Ranis (eds.), "Science, Technology and Economic Development", New York, 1978.

(7) D. Pizano y G. Perry. "The Scientific and Technological Implications of the New International Economic Order Proposals", Bogotá, 1979.