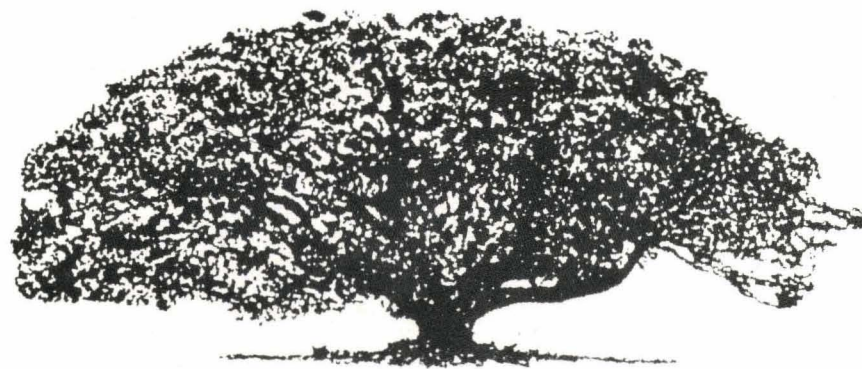




Impresión: FERIVA-Call

# CIENCIA, TECNOLOGIA Y DESARROLLO

Luis Javier Jaramillo



# ICESI



**SERIE CARTILLAS PARA  
EL DOCENTE ICESI**

Publicaciones del CREA

# **CIENCIA, TECNOLOGIA Y DESARROLLO**

**Luis Javier Jaramillo**

**CENTRO DE RECURSOS PARA LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE**

**Apartado Aéreo 25608 Teléfonos: 555-2334/43. Fax: 555-2345, Cali - Colombia**

## Introducción

La Rectoría, la Vicerrectoría Académica y la Dirección del CREA presentan a su cuerpo profesoral una nueva entrega de la serie Cartillas para el Docente ICESI, serie que está proyectada al perfeccionamiento docente en el ICESI y al mejoramiento del proceso de enseñanza-aprendizaje de sus estudiantes.

Esta cartilla sobre «Ciencia, Tecnología y Desarrollo» nos introduce en uno de los temas más complejos de hoy, insiste en el factor desarrollo el cual ha sido dejado a un lado por otros tratadistas del tema.

El doctor Luis Javier Jaramillo es persona de reconocida experiencia en el sector educativo y ha trabajado intensamente en el área tecnológica; actualmente es director de TECNOS, que atiende el Convenio Relación Universidad - Industria.

# CIENCIA, TECNOLOGIA Y DESARROLLO

Luis Javier Jaramillo

La ciencia y la tecnología pueden palpase en lo cotidiano. Basta echar una ojeada a los objetos que nos rodean en nuestro diario vivir y preguntarnos por el contenido de conocimiento que ha hecho posible su producción. Subyacen a este conjunto innumerable de productos, procesos y equipos infinidad de tecnologías «que no existían y no hubieran existido jamás si no hubiera sido por el talento y la creatividad del hombre», como lo vio Jorge Sábato.

Siendo el conocimiento la «materia prima» de la sociedad a fines del siglo xx, el presente material se presenta como una invitación a comprender la naturaleza de la actividad científica y tecnológica generadoras de conocimiento y a forjarse una visión general de su impacto en la sociedad. Somos testigos de excepción de una revolución productiva nueva, basada en el conocimiento.

Es en este escenario donde a manera de inducción y telón de fondo, cobra sentido «aprender a investigar» en los múltiples campos del saber y a formular proyectos de investigación. Este es uno de los lenguajes de la sociedad y de las organizaciones de nuestros días.

## 1. Naturaleza de la actividad científica

### 1.1. Elementos comunes al pensamiento

Si encontramos al azar un grupo de científicos, aun dentro de un mismo campo o disciplina, hallaríamos que sus ideas sobre un problema determinado difieren, a veces de modo radical; esto, además de ser una de las características inherentes del ser humano, refleja en parte la diversidad del pensamiento científico. Sin embargo – y afortunadamente –, existe una base de actitudes y creencias que todos ellos comparten, acerca de la naturaleza del universo y del modo de aproximarse y aprender de él.

### 1.1.1. Estudio de patrones

Uno de los elementos de esta base común es la suposición de que todo lo que existe y ocurre en el universo sigue ciertos modelos o patrones consistentes que pueden ser descubiertos y estudiados a través del intelecto y del uso de métodos e instrumentos que refinan y extienden nuestra capacidad sensorial.

Estos patrones o reglas básicas, además, son, o deben ser, iguales en cualquier parte del universo, de modo que, por ejemplo, los principios que regulan el movimiento de los cuerpos son los mismos aquí en nuestra planeta y en la más distante de las galaxias.

### 1.1.2. Observación y explicación de los fenómenos

Otro elemento común que comparten los científicos se refiere al proceso para producir conocimiento: depende tanto de la observación cuidadosa de los fenómenos como de la invención de teorías para explicar lo observado. En este proceso los cambios, la renovación o las modificaciones son inevitables ya que las nuevas observaciones pueden poner en tela de juicio las teorías predominantes; éstas, entonces, están siendo sometidas continuamente al examen y la comprobación para ser mejoradas y, ocasionalmente, descartadas y reemplazadas por otras que pueden explicar los hechos con mayores cobertura y profundidad. El científico cree, así, que si bien la verdad absoluta y completa es inalcanzable, sí es posible, por aproximaciones sucesivas, adquirir conocimientos cada vez más exactos de todo lo que nos rodea y de su funcionamiento. Con ello está asociado el método científico.

## 1.2. El método científico y sus características

Aunque la expresión «método científico» es ya bien conocida, la verdad es que no existen reglas fijas ni pasos que, al seguirlos, conduzcan directamente al conocimiento científico. De hecho, la investigación científica no puede describirse fácilmente fuera del contexto de una disciplina o campo específicos. Existen, sin embargo, una serie de características que le confieren una «personalidad» propia y única frente a las otras maneras de ver

el mundo, características que, por otro lado, pueden ser aplicadas por cualquier persona en asuntos importantes de su diario vivir. Veamos algunas de ellas.

### 1.2.1. Observación y recolección de datos

Tarde o temprano la validez de cualquier afirmación científica debe confrontarse con la observación de ciertos fenómenos y por ello los científicos invierten gran parte de su tiempo en la recolección de datos exactos, tomados tanto en condiciones **pasivas** (un terremoto, un comportamiento animal en condiciones naturales) como **activas** (un experimento en el laboratorio, el ensayo de una droga en un ser vivo). A menudo es posible controlar en forma precisa y deliberada las condiciones en las cuales se obtiene la evidencia a fin de conocer la manera en que cada una de las variables o condiciones afectan el sistema en examen. Frecuentemente, esto no es posible (si el objeto del estudio es una estrella por ejemplo) o no se conforma a la ética (si el sujeto es un ser humano): otras veces dicho control puede distorsionar el fenómeno correspondiente (comportamiento de animales en cautiverio). En estos casos las observaciones se realizan en un rango suficientemente amplio de condiciones naturales de modo de poder inferir el efecto de los diversos factores. Dada la importancia crucial de la evidencia, el desarrollo de instrumentos y técnicas de observación cada vez mejores ocupa un lugar prioritario en el esquema general de la investigación científica. Por la misma razón los investigadores tienden a verificar los hallazgos de otros, replicando las condiciones respectivas y buscando la reproducibilidad que debe caracterizar una observación científica hecha.

### 1.2.2. Formulación y comprobación de hipótesis

A menudo los científicos entran en desacuerdo respecto al valor de cierta evidencia o acerca de la validez de una suposición dada y, por tanto, en conflicto frente a las conclusiones respectivas.

Sin embargo, tienden a compartir los principios del razonamiento lógico que conecta la evidencia y las hipótesis con las conclusiones (criterios de inferencia, demostración y sentido común). En ciencia no se trabaja solamente con datos y teorías bien desarrollados. A menudo, lo único que se

tiene son hipótesis, las cuales se usan ampliamente para escoger datos interesantes y buscar los que hagan falta y para seguir la interpretación de éstos. De hecho, el proceso de la formulación y comprobación de hipótesis es una de las actividades centrales del científico. Por otro lado, para que sea útil, una hipótesis debe sugerir la evidencia a favor y la evidencia en contra.

La lógica y la evidencia son necesarias pero, a menudo, no suficientes para hacer avanzar la ciencia. Los conceptos científicos no surgen automáticamente de los datos ni de su mero análisis: la invención de las hipótesis o de las teorías y de la manera como éstas pueden ser sometidas a las pruebas de la evidencia, son ejercicios tan creativos como la poesía, la música y el diseño. Algunas veces los descubrimientos científicos se hacen por accidente, pero el conocimiento y la percepción creativa son necesarios para conocer el significado de lo inesperado; no pocas veces los datos que un científico ignora pueden servir a otro para realizar un descubrimiento.

### 1.2.3. *Demostración de relaciones entre fenómenos*

La credibilidad de una teoría científica a menudo se deriva de su capacidad para mostrar relaciones entre fenómenos aparentemente desconectados; de este modo, las explicaciones inventadas para un fenómeno dado son consistentes con principios o hechos ampliamente aceptados. Así, por ejemplo, la teoría del movimiento de las placas tectónicas ha ganado credibilidad a medida que ha establecido relaciones entre fenómenos tan diversos como los terremotos, los volcanes, la forma de los continentes y los tipos de sus fósiles, y los contornos de los fondos oceánicos.

La esencia de la ciencia es la validación mediante la observación, pero no es suficiente que una teoría explique sólo los datos conocidos, sino que debe encuadrar las observaciones adicionales pasadas o futuras, en una palabra, una teoría debe tener poder predictivo. Una teoría, por ejemplo, sobre los orígenes del hombre puede ser puesta a prueba a medida que aparecen nuevos descubrimientos sobre fósiles de homínidos; una sobre evolución de estrellas puede predecir relaciones insospechadas entre las

variables que determinan su luminosidad, las cuales pueden ser verificadas al escudriñar series de datos antiguos sobre el problema.

## 2. **Naturaleza de la tecnología**

### 2.1. *La naturaleza de la tecnología*

La tecnología es tan antigua como el hombre. De hecho, la aparición de las primeras herramientas se ha relacionado con los principios de la cultura humana. La tecnología, como el lenguaje, los ritos, los valores, el comercio y las artes, es un elemento intrínseco al sistema cultural, del cual es un reflejo y sobre el cual actúa dinámicamente. En el mundo de hoy la tecnología ha asumido las características de una compleja empresa social que incluye no solamente la investigación, el diseño y la fabricación, sino también las finanzas, la manufactura, la administración, la fuerza laboral y el mercadeo.

En sentido más amplio, la tecnología es la manera más efectiva de amplificar y extender nuestra capacidad para cambiar el mundo, ya sea para cortar, dar forma o unir materiales, para aumentar el alcance de nuestras manos, voces y sentidos; o para movernos o transportar cosas de un lugar a otro. Nos servimos de la tecnología para transformar lo que nos rodea de acuerdo con nuestra conveniencia y nuestras necesidades básicas como el alimento, la vivienda o la defensa; la tecnología puede hacer parte también de aspiraciones humanas como el conocimiento, el arte y el control sobre las cosas. A menudo, sin embargo, los resultados de estas modificaciones son impredecibles y complejos, pueden traer beneficios inesperados pero también sorpresas negativas en sus costos y riesgos, con incidencias imprevistas sobre ciertos grupos sociales. Por ello, es tan importante anticipar los efectos de una tecnología como avanzar en su desarrollo.

### 2.2. *Relaciones entre ciencia, tecnología e ingeniería*

En la antigüedad la tecnología era un producto de la experiencia personal con las propiedades de las cosas y con las técnicas para manipularlas, se transmitía de generación en generación de maestros a aprendices. Hoy lo que se transmite no es simplemente un oficio sino toda una literatura;

palabras, cifras e ilustraciones que describen y dirigen. Pero así como es de importante la acumulación del conocimiento práctico, lo es igualmente la contribución que la tecnología recibe del conocimiento de los principios básicos sobre el comportamiento de las cosas, es decir del entendimiento científico.

La ingeniería, o la aplicación sistemática del conocimiento científico en el desarrollo y operacionalización de la tecnología, ha crecido y se ha convertido de oficio en una ciencia en sí misma. El conocimiento científico puede suministrar los medios para estimar el comportamiento de las cosas, aun antes de fabricarlas o de observarlas; aún más, la ciencia a menudo sugiere nuevos comportamientos no imaginados antes, conduciendo así a nuevas tecnologías.

A menudo una nueva tecnología requiere nuevos conocimientos y, así mismo, con frecuencia una nueva investigación necesita una tecnología nueva. La tecnología, a su vez, se convierte en los ojos y los oídos de la ciencia e inclusive en sus músculos; el computador, por ejemplo, ha dado lugar a un progreso sustancial en el estudio de los fenómenos meteorológicos, los patrones demográficos, la estructura del gene y otros sistemas complejos cuyo estudio de otra forma hubiera sido casi imposible. La tecnología es vital para los propósitos científicos de medida, recolección de datos, tratamiento de muestras, cálculos, transporte (a la luna, a la Antártida, a los fondos marinos), obtención de muestras, protección de sustancias peligrosas y comunicación. La tecnología produce más y mejores instrumentos y técnicas que posibilitan el avance acelerado de las diversas líneas sobre las que se mueve la actividad científica.

La tecnología no sólo suministra herramienta a la ciencia; puede también dar motivación y dirección a la teoría y a la investigación. La teoría de la conservación de la energía, por ejemplo, se desarrolló en gran parte por el aguijón del problema de la eficiencia de las máquinas de vapor. Los mapas genéticos en el ser humano han sido impulsados por la tecnología de la ingeniería genética, la cual al mismo tiempo que los hace posibles los justifica.

En síntesis, los científicos descubren patrones en los fenómenos para tratar de entender el mundo que nos rodea; así mismo, los ingenieros buscan patrones para tratar de manipularlo. El científico quiere demostrar que la teoría explica los datos; el matemático persigue pruebas lógicas de relaciones abstractas; el ingeniero trata de demostrar que los diseños funcionan.

### 2.3. *El diseño de la tecnología*

Todo diseño opera dentro de límites que deben ser identificados y tenidos en cuenta. Algunas de estas limitaciones son de tipo absoluto, como en el caso de las leyes físicas o las propiedades de la materia (el principio de conservación de energía, y las características de flexibilidad, conductividad eléctrica y fricción). Otras son más elásticas, tales como las de índole económica, política, social, ecológica y ética. Un diseño óptimo debe tener en cuenta todos estos condicionantes y lograr un compromiso razonable con cada uno de ellos.

Por ejemplo, el material más liviano no necesariamente es el más fuerte; la forma más eficiente puede no ser la más segura o la más estética. Por tanto, cada problema de diseño se presta a varias soluciones alternativas, dependiendo de los valores que la sociedad asigna a cada uno de los condicionantes.

Otro limitante lo constituye el contexto en el cual se desempeñará la tecnología. La mayoría de los productos deben ser operados, mantenidos, y finalmente reemplazados, con ciertos costos, incluyendo la necesidad de personal especializado. Todo diseño debe pasar por una prueba antes de su producción a escala industrial o de su empleo en condiciones reales; por razones prácticas y económicas los ensayos necesarios se hacen a menudo con modelos más pequeños, simulaciones por computador, análisis de sistemas análogos (animales de laboratorio en lugar de seres humanos, por ejemplo) o las pruebas de componentes separados solamente.

Cualquier sistema producido por la tecnología requiere control. La esencia del control radica en la comparación de información sobre lo que está

sucediendo con lo que queremos que suceda, para luego hacer los ajustes necesarios. El control requiere retroalimentación (feedback) y los medios para producir cambios. Por ejemplo, un horno doméstico es un dispositivo relativamente simple que compara la información captada por un sensor térmico con la temperatura que se fija con un control, para efectuar el cambio que se requiera activando o apagando un elemento calentador. El automóvil es un sistema mucho más complejo, compuesto de subsistemas que controlan la temperatura del motor, la tasa de combustión, la velocidad, la dirección, etc. Hoy la microelectrónica hace posible controles lógicos en una gran cantidad de máquinas, por medio de los llamados microprocesadores, los cuales en un espacio muy reducido efectúan las tareas de captar información, hacer comparaciones y realizar tareas. A medida que los sistemas de control se vuelven más complejos requieren a su vez de coordinación, lo cual implica controles adicionales a otros niveles; de todos modos cualquier sistema tecnológico precisa del control humano, en una u otra forma, como elemento último, para atender el propósito y naturaleza y el contexto en el cual opera dicho control.

### 3. Investigación y desarrollo experimental (I+D)

#### 3.1. Investigación y desarrollo (I+D)

Según el Manual Frascati, de la OECD, la Investigación y el Desarrollo Experimental, (I+D), pueden ser definidos como «un trabajo creativo emprendido de modo sistemático para incrementar el acervo de conocimiento científico y tecnológico y utilizar dicho acervo para invertir en nuevas aplicaciones».

Se distinguen usualmente varias actividades creativas bajo el concepto de Investigación y Desarrollo: Investigación Básica, Investigación Aplicada, Desarrollo Experimental. Más adelante nos referiremos a la innovación tecnológica, íntimamente ligada.

Estas actividades se han profesionalizado y se han vuelto objeto de la gerencia, incluso en los países en vía de desarrollo. La I+D es considerada como un *invento para inventar*, o como una *fábrica de tecnología*. Es suje-

to de prioridad de inversión. Sería difícil hoy en día concebir una distribución al azar de los recursos disponibles para su apoyo. *La investigación programada* se ha convertido en una de las principales metodologías de los centros de investigación de todo el mundo.

#### 3.2. La investigación básica

Es investigación original para adquirir nuevo entendimiento y conocimiento científico. No está dirigida hacia aplicaciones prácticas específicas.

La investigación básica produce nuevas hipótesis y teorías y genera leyes. Comprende el análisis de las propiedades, estructuras e interrelaciones de sustancias y fenómenos de todo tipo con el fin de organizar los hallazgos en torno de leyes generales que usan esquemas explicativos y teorías interpretativas. La investigación básica no tiene aplicaciones específicas inmediatas a la vista pero puede ser orientada hacia un área de intereses para la organización que la ejecuta.

Los resultados de la investigación básica no son negociables y son publicados usualmente en revistas científicas y circulados entre colegas interesados.

La investigación básica puede ser asumida por científicos que le trazan sus propias metas y que en gran medida organizan su propio trabajo.

En la investigación científica básica pura es generalmente el interés científico del investigador, quien determina la materia estudiada. En la investigación básica orientada la organización que emplea al investigador normalmente dirigirá su trabajo hacia un campo de interés presente o potencial, de tipo científico, económico o social.

#### 3.3. La investigación aplicada

La investigación aplicada es también investigación dirigida a conseguir conocimiento científico y/o tecnológico. Se dirige, sin embargo, hacia fines prácticos o hacia un objetivo.

La investigación aplicada es emprendida bien para determinar los posi-



bles usos de la investigación básica o para determinar nuevos métodos o formas de lograr algunos objetivos específicos y predeterminados. Considera el conocimiento disponible y su extensión para resolver problemas particulares.

Los resultados de la investigación aplicada se pretende, en primer lugar, que sean válidos para un número determinado de productos, operaciones, métodos y sistemas. La investigación aplicada desarrolla y transforma ideas en formas operacionales. El conocimiento o la información derivados de ella son a menudo patentados pero pueden ser mantenidos en secreto.

### 3.4. *Desarrollo experimental*

El desarrollo experimental es el uso del conocimiento científico para producir materiales, aparatos, productos, procesos, sistemas o servicios nuevos o sustancialmente mejorados.

El desarrollo experimental es un trabajo sistemático que parte del conocimiento existente, de aquel que se genera en la investigación o de la experiencia práctica, y cuyo objetivo es producir nuevos materiales, productos o aparatos; montar nuevos procesos y sistemas y mejorar sustancialmente aquellos ya producidos o que se encuentran en funcionamiento. Comprende a su vez desarrollo de prototipos y construcción y operación de Planta Piloto.

Un prototipo es un modelo original sobre el cual se materializa un nuevo patrón y del cual se derivan presentaciones o copias del mismo tipo. Es un modelo básico que posee todas las características esenciales del producto reproducido.

Planta Piloto. La construcción y operación de una planta piloto es parte de la I+D, en tanto el propósito principal es obtener experiencias y compilar datos de ingeniería y de otra índole para ser usados en la evaluación de hipótesis; la redacción de nuevas fórmulas de productos y el establecimiento de nuevas especificaciones de producto, etc.

### 3.5. *Innovación tecnológica*

La tecnología como la ciencia pueden considerarse para fines de nuestro

análisis, como los cuerpos de conocimiento que el hombre ha ido produciendo mediante el esfuerzo de la investigación. La tecnología necesita de la ciencia y ésta de la primera; ambas producen conocimientos o aplicaciones de mutuo beneficio para su existencia y progreso.

Sin embargo, conviene afirmar con múltiples investigadores del desarrollo tecnológico, que la tecnología no llega a tener un valor práctico hasta que no se convierte en una «innovación tecnológica». Se entiende por innovación tecnológica el proceso mediante el cual una invención o idea se introduce en la economía. Una definición un poco más amplia sería la introducción por primera vez de nuevos productos, procesos o maneras de hacer las cosas. Esto quiere decir que la innovación no sólo se refiere a la tecnología y su enlace con la economía, sino que se aplica a muchas áreas del esfuerzo humano, como la agricultura, la industria, la medicina y a una variedad de actividades intelectuales de carácter social, económico, político y militar.

En el uso de la innovación tecnológica en el contexto de la economía, la innovación conlleva una inversión, con efectos mensurables sobre la economía, es decir, el establecimiento de una empresa industrial que aproveche comercialmente la invención.

No es suficiente la investigación en el laboratorio, olvidándose que el desarrollo costará diez o veinte veces más. La causa de que muchos resultados no salgan de los laboratorios, pese a diversos apoyos y subsidios, y de que se hagan críticas a las instituciones de investigación por imprácticas, puede deberse a la naturaleza costosa de todo el proceso de I+D e innovación. Explica también que en países como Colombia la industria prefiera volcarse al exterior a buscar los desarrollos tecnológicos «llave en mano», evitándose los riesgos e incertidumbre de la etapa de desarrollo. Una opción radica en la realización de esfuerzos adaptativos a las condiciones propias.

Las más exitosas economías occidentales (ejemplo: Alemania, Japón, USA), no sólo tienen una fuerte base de investigación científica y tecnológica, sino que son capaces de convertir sus capacidades de investigación

en bienes y servicios comercializables internacionalmente. Una manera simple de representar esto sería por medio de una pirámide de actividades con una cantidad de ciencia en su ápice, seguido de cantidades progresivamente más grandes de tecnología, ingeniería y producción.

#### 4. El impacto socio-económico de la ciencia y la tecnología

##### 4.1. *Tecnología y desarrollo*

El proceso de desarrollo se caracteriza por el cambio de las estructuras sociales y la movilidad hacia arriba de los individuos. Se logra por medio de mejoras tales como la adquisición de mayores capacidades de la gente, de las instituciones y de los procesos de producción de un país. Se caracteriza también por el logro de la justicia distributiva que permite compartir los frutos del progreso y las mejoras en la calidad de vida. También coadyuva a que una nación participe de manera más independiente en las actividades de la comunidad internacional y alcance una mejor ubicación en la división internacional del trabajo.

Los impactos de la tecnología se han sentido en la sociedad desde los albores de la historia. El desarrollo y aplicación de la tecnología de irrigación en Mesopotamia, por ejemplo, dio lugar a que naciera la primera economía agrícola basada en la acumulación de excedentes agrícolas. Así se fueron sentando progresivamente las bases de varias civilizaciones caracterizadas por la especialización, la división del trabajo, el desarrollo del comercio, la definición de principios de gobierno y el reconocimiento del individuo.

El paso de los artesanos a las disciplinas tecnológicas y a la máquina durante el período 1750-1850, marcó la iniciación de la primera revolución industrial con múltiples implicaciones para el desarrollo social. Europa Occidental fue el escenario de esta primera transformación social basada en el desarrollo tecnológico. Entre tanto, las sociedades que hoy constituyen el tercer mundo, se limitaban a ser proveedores de materias primas, en un orden pre-industrial.

A través de la sofisticación sistemática de las actividades económicas

inventadas por el hombre, el mundo natural en que nuestros ancestros cimentaron su vida primitiva, ha sido transformado por el «uso humano de la tierra». Este proceso se viene acelerando notablemente por la creciente aplicación de la tecnología, que a su vez abre nuevas fronteras, en virtud de los nuevos descubrimientos científicos.

La naturaleza de una sociedad está determinada por la clase de actividad tecnológica predominante. Puede anticiparse, en este sentido, que las sociedades del futuro se basarán en actividades económicas de mayor contenido tecnológico.

A lo largo de la historia, la tecnología ha traído con su aplicación, cambios en el ambiente natural y le ha ayudado al hombre a hacer de dicho ambiente un escenario propicio para la vida colectiva y productiva. Sin embargo, la tecnología puede también causar la degradación irreversible de los recursos naturales a menos que se identifiquen argumentos en favor de la naturaleza.

La moderna tecnología industrial ha impactado en la satisfacción de las necesidades básicas del hombre, en virtud de la conservación de alimentos, las prácticas agrícolas, la provisión de agua potable, la construcción de grandes complejos habitacionales, el vestuario basado en nuevas fibras, la erradicación de enfermedades endémicas, el alargamiento de la vida gracias a los antibióticos, las comunicaciones al instante vía satélite, la mayor movilidad creada por el transporte, la explotación de nuevas formas y fuentes de energía, etc.

Sin embargo, los efectos de la tecnología en los ecosistemas ha venido creando preocupaciones profundas, al punto que se han emprendido discusiones de carácter global para evitar la degradación de la biosfera y del ambiente natural. En parte, la «evaluación tecnológica» se lleva a cabo para reducir los impactos previsibles de la tecnología.

##### 4.2. *La ciencia y la tecnología como motores del desarrollo*

Desde la primera revolución industrial se ha puesto en evidencia la importancia de la tecnología en el desarrollo nacional. La aplicación de la

tecnología ha propiciado una tremenda elevación del nivel de vida en los últimos doscientos años. De otra parte, la ausencia de esta aplicación ha contribuido a mantener a los países en desarrollo en niveles precarios. Los indicadores de población, ingresos y empleo, así lo atestiguan.

Es de dudar que los países en desarrollo puedan permitirse un cambio tan gradual como el de sus predecesores industrializados. Necesitan lograr en décadas lo que se logró en siglos.

La tecnología ha sido reconocida como un poderoso motor de crecimiento de la economía. Se ha comprendido que un país subdesarrollado es el que tiene una débil base tecnológica.

Si quieren valerse de dicho motor, los países en desarrollo no pueden hacer aproximaciones esporádicas al tema. Se requiere un gran esfuerzo sistemático y sostenido, para impulsar el desarrollo tecnológico y científico.

Ciertos objetivos fundamentales y de mediano plazo deben presidir el desarrollo científico-tecnológico: la satisfacción de las necesidades básicas de la población, su incorporación al mercado de bienes y servicios y hacer compatible el proceso con el medio físico. El estilo de desarrollo más armonioso con el entorno debe ser un objetivo de largo plazo.

Pero no se crea que las solas ciencia y tecnología bastan para impulsar exclusivamente el desarrollo, pues es la organización de la producción la que permite a un país poder aprovechar sus recursos científicos y técnicos y generar nuevos potenciales. El subdesarrollo extremo no crea presión alguna en favor de la investigación científica y tecnológica. Este punto implica un enorme desafío a la gestión que organiza todos los recursos de manera productiva.

## 5. La ciencia y la tecnología en la nueva revolución industrial

### 5.1. *Hacia la industria «cerebro-intensiva»*

Las actividades científicas van de la mano con la evolución de las sociedades, que fijan límites o facilitan tanto el proceso de creación de conocimiento científico y tecnológico como su uso económico. Siguiendo este

hilo conductor, como vimos en la lección anterior, la producción de tecnología y la industria, inicialmente poco intensivas en ciencia, cambian de signo y hoy en día son más «cerebro-intensivas», induciendo profundas y radicales transformaciones en la manipulación de la materia y de la vida.

La ciencia y la tecnología transforman de modo excepcional el aparato productivo, incentivado éste a su vez por la dinámica de los mercados globales. En estas condiciones, cada vez más, Ciencia y Tecnología son objeto de políticas y de estrategias concertadas entre estados y empresas, buscando su mayor aprovechamiento.

Una forma de profundización inusitada del impacto de la Ciencia y la Tecnología en la sociedad y en la economía se viene dando en nuestros días. Es necesario comprender su ingrediente fundamental: adopción de innovaciones tecnológicas radicales que cambian la fisonomía del aparato productivo, particularmente hijas de la microelectrónica.

Estamos asistiendo a otra «revolución industrial» comparada por lo menos con la fase previa de grandes innovaciones tecnológicas que caracterizó al período de postguerra y comparable para algunos con la que se inició en Inglaterra, como opina Alvin Toffler, con el concepto de una «tercera ola», cuyos signos más evidentes son:

- Nacimiento de industrias de alta tecnología.
- Nuevos procesos de producción basados en la microelectrónica que «rejuvenecen» la fabricación de automóviles, textiles e inclusive acero.
- Fusión de la computación y las telecomunicaciones, creando nuevas infraestructuras comparables a la evolución del sistema de superautopistas o a la de las líneas de navegación a vapor.

### 5.2. *Las nuevas tecnologías*

Para ilustrar mejor el núcleo de tecnologías avanzadas que pueden constituir la nueva industrialización y la gran transformación productiva de fin de siglo, daremos un vistazo a las tecnologías de información, a la biotecnología y a los nuevos materiales.

### 5.2.1. Tecnologías de información

La microelectrónica está en el centro de los sistemas tecnológicos que han originado la transformación de los sectores manufactureros tradicionales. Es horizontal, es decir, su impacto cruza a través de toda la industria.

El sector electrónico es el mayor del mundo actual. Las solas ventas de semiconductores representaron 80.000 millones de dólares en 1992.

El diseño asistido por computador (CAD) y la manufactura asistida por computador (CAM), han multiplicado incesantemente las posibilidades de nuevos equipos y productos. Se acorta dramáticamente el ciclo de vida de los productos. La fábrica integrada del futuro (CIM), permitirá la integración de varias funciones: producción de piezas, programación de máquinas, listado de partes, licitaciones y ofertas, de modo flexible. El sistema de telecomunicaciones casado con los computadores ha dado lugar a un nuevo y pujante sector de servicios, por ejemplo: los bancos atienden mercados financieros durante las 24 horas. Los países industrializados se desplazan hacia economías basadas en servicios.

### 5.2.2. Biotecnología

Las aplicaciones son promisorias en alto grado para contribuir a la conservación del medio ambiente, a la agricultura, a la agroindustria y a la industria farmacéutica.

- La selección y manipulación de microorganismos permite mejorar el control biológico de plagas, la recuperación de suelos y aguas contaminados, la fertilización orgánica, el reciclaje de desechos y subproductos agrícolas y pecuarios, mediante microbios más eficientes.
- La conservación y mejoramiento de los recursos genéticos permite abrir genotecas, o «bibliotecas de genes», con nuevos potenciales económicos, para preservar especies en peligro de extinción. Las plantas transgénicas pueden resistir mejor las plagas. La fertilización «in vitro» produce vacas que dan más leche, carne con menos contenido de grasas, resistencia a enfermedades. La conservación «in vitro» permite mul-

tiplicación clonal masiva de genotipos superiores.

- Los microbios pueden utilizarse como «fábricas biológicas» de productos para la industria farmacéutica y biomédica. Las sondas de ADN permiten el diagnóstico certero de enfermedades.

### 5.2.3. Nuevos materiales

- La implantación de nuevos materiales sintéticos permite combinaciones cada vez más funcionales a los diseños deseados en la industria; alta resistencia, menor peso, resistencia a la corrosión, capacidad aislante y térmica, facilidad de proceso.
- Los nuevos materiales generarán nuevas industrias, por ejemplo, plásticas. En la fabricación de máquinas y herramientas especiales surgen nuevos equipos para las nuevas técnicas de proceso. Los nuevos materiales tendrán una profunda influencia en las modificaciones de los patrones de producción, los procesos industriales y los productos.
- Ejemplos de sustitución recientes, son los plásticos de alto desempeño en la fabricación de autos; el PVC por tubería metálica en la industria de la construcción; los cables de cobre por fibras ópticas en las comunicaciones.
- El uso de nuevos materiales, conducirá a nuevas oportunidades industriales. Los materiales superconductores constituyen amplio capítulo de investigación y de impacto futuro, con usos en el transporte, por ejemplo. En cerámicas no está distante la posibilidad de sustitución de los metales para fabricar motores de combustión interna.
- El desplazamiento provocado por los nuevos materiales reformará, por ejemplo, la caída del precio de los metales tradicionales; la reestructuración de operaciones a fin de bajar costos de producción y su reemplazo completo por otros productos.

### 5.3. Respuestas a las nuevas oportunidades

Aumentar la capacidad de competir en los mercados con mejores productos, procesos y diseños basados en las nuevas tecnologías, es un objeti-

vo dominante de las empresas y de los estados en la actual onda económica, especialmente los países industrializados. La nueva industrialización, más que los precedentes, se inspira en la gestión de los talentos en la producción. La innovación tecnológica es un objetivo central de la gerencia. Ciencia y tecnología se van fusionando casi en las propuestas de competitividad.

Algunos teóricos sostienen que por estar todavía en procesos de maduración las tecnologías que sustentan el actual ciclo productivo, los países en desarrollo tienen opciones siempre y cuando adecúen sus instituciones y políticas de apoyo. Cambios de enfoque, por ejemplo, el paso de una industrialización por sustitución de importaciones y proteccionismo, a una más abierta y a tono con la escala global, podrían ser un acicate que obligue a mejorar la tecnología dentro de patrones universales de competitividad.

### **Luis Javier Jaramillo Sierra**

Estudios en Psicología Industrial, Universidad Nacional; Postgrado en Difusión de Innovaciones y Extensión, Universidad del Estado de Michigan. Trabajos en: SENA, Universidad Nacional y Colciencias. En esta última fue Jefe de la Unidad de Desarrollo Tecnológico y Prospectiva durante ocho años. Tomó curso de Fomento a las PYMES en el Japón. Editó el libro *Administración de Programas y Proyectos de Ciencia y Tecnología en América Latina*, con apoyo del BID/CINDA/SECAB. Durante dos años fue Director de la Asociación Latinoamericana de Gestión Tecnológica (1992-1993). Fue Director de la Fundación Nueva Colombia Industrial. Actualmente es el Director de la Fundación TECNOS.