

Capítulo I

Evolución de la Ciencia

Aunque los mitos no tienen necesariamente que ser falsos, a menudo se les asigna esa connotación. Aquí se utiliza el término en su sentido clásico: como sinónimo de "leyenda", "fábula", "ficción", no en el más reciente, que lo deja reducido a un sinónimo innecesario de "famoso".

La Ciencia, con mayúscula, siempre se ha dirigido (al menos en teoría) al descubrimiento de la verdad. Puede parecer, pues, sorprendente que se afirme que existen mitos en la Ciencia, pero el hombre tiene una capacidad inagotable para crearlos y aferrarse a ellos. Aunque, si vamos a ser estrictos, las ideas a las que hace referencia este artículo no son propiamente mitos científicos, sino que han surgido en otras disciplinas situadas en su periferia, como la Historia o la Filosofía de la Ciencia.

El mito del Progreso Indefinido afirma que, una vez que hemos entrado en la era de la Ciencia, el desarrollo científico no puede volver atrás. Los inventos y los descubrimientos se irán sucediendo a un ritmo siempre acelerado, por lo que la curva del desarrollo científico se aproximaría a una exponencial.

Antes de abordar esta teoría y tratar de refutarla, vamos a dedicar unos momentos de atención a otros mitos relacionados que sobreviven con insistencia a pesar de su evidente y flagrante falsedad.

Orígenes de la ciencia

Los esfuerzos para sistematizar el conocimiento se remontan a los tiempos prehistóricos, como atestiguan los dibujos que los pueblos del paleolítico pintaban en las paredes de las cuevas, los datos numéricos grabados en hueso o piedra o los objetos fabricados por las civilizaciones del neolítico. Los testimonios escritos más antiguos de investigaciones protocientíficas proceden de las culturas mesopotámicas, y corresponden a listas de observaciones astronómicas, sustancias químicas o síntomas de enfermedades además de numerosas tablas matemáticas inscritas en caracteres cuneiformes sobre tablillas de arcilla. Otras tablillas que datan aproximadamente del 2000 a.C. demuestran que los babilonios conocían el teorema de Pitágoras, resolvían ecuaciones cuadráticas y habían desarrollado un sistema sexagesimal de medidas (basado en el número 60) del que se derivan las unidades modernas para tiempos y ángulos (véase Sistema numérico; Numeración).

Orígenes de la teoría científica

El conocimiento científico en Egipto y Mesopotamia era sobre todo de naturaleza práctica, sin demasiada organización racional. Uno de los primeros sabios griegos que buscó las causas fundamentales de los fenómenos naturales fue el filósofo Tales de Mileto, en el siglo VI a.C., quien introdujo el concepto de que la Tierra era un disco plano que flotaba en el elemento universal, el agua. El matemático y filósofo Pitágoras, de época posterior, estableció una escuela de pensamiento en la que las matemáticas se convirtieron en una disciplina fundamental para toda la investigación científica. Los eruditos pitagóricos postulaban una Tierra esférica que se movía en una órbita circular alrededor de un fuego central. En Atenas, en el siglo IV a.C., la filosofía natural jónica y la ciencia matemática pitagórica se combinaron para producir las síntesis formadas por las filosofías lógicas de Platón y Aristóteles. En la Academia de Platón se subrayaba el razonamiento deductivo y la representación matemática; en el Liceo de Aristóteles primaban el razonamiento inductivo y la descripción cualitativa. La interacción entre estos dos enfoques de la ciencia ha llevado a la mayoría de los avances posteriores.

En esa época el sistema de Tolomeo una teoría geocéntrica de los planetas (con centro en la Tierra) propuesta por el astrónomo Claudio Tolomeo y las obras médicas del filósofo y médico Galeno se convirtieron en

tratados científicos de referencia para la era posterior. Un siglo después surgió la nueva ciencia experimental de la alquimia a partir de la práctica de la metalurgia. Sin embargo, por el año 300 la alquimia fue adquiriendo un tinte de secretismo y simbolismo que redujo los avances que sus experimentos podrían haber proporcionado a la ciencia.

En el siglo XIII la recuperación de obras científicas de la antigüedad en las universidades europeas llevó a una controversia sobre el método científico. Los llamados realistas apoyaban el enfoque platónico, mientras que los nominalistas preferían la visión de Aristóteles. En las universidades de Oxford y París estas discusiones llevaron a descubrimientos de óptica y cinemática que prepararon el camino para Galileo y para el astrónomo alemán Johannes Kepler.

La gran epidemia de peste y la guerra de los Cien Años interrumpieron el avance científico durante más de un siglo, pero en el siglo XVI la recuperación ya estaba plenamente en marcha. En 1543 el astrónomo polaco Nicolás Copérnico publicó *De revolutionibus orbium caelestium* (*Sobre las revoluciones de los cuerpos celestes*), que conmocionó la astronomía. Otra obra publicada ese mismo año, *De corporis humani fabrica* (*Sobre la estructura del cuerpo humano*), del anatomista belga Andrés Vesalio, corrigió y modernizó las enseñanzas anatómicas de Galeno y llevó al descubrimiento de la circulación de la sangre. Dos años después, el libro *Ars magna* (*Gran arte*), del matemático, físico y astrólogo italiano Gerolamo Cardano, inició el periodo moderno en el álgebra con la solución de ecuaciones de tercer y cuarto grado.

La ciencia moderna

Esencialmente, los métodos y resultados científicos modernos aparecieron en el siglo XVII gracias al éxito de Galileo al combinar las funciones de erudito y artesano. A los métodos antiguos de inducción y deducción, Galileo añadió la verificación sistemática a través de experimentos planificados, en los que empleó instrumentos científicos de invención reciente como el telescopio, el microscopio o el termómetro. A finales del siglo XVII se amplió la experimentación: el matemático y físico Evangelista Torricelli empleó el barómetro; el matemático, físico y astrónomo holandés Christiaan Huygens usó el reloj de péndulo; el físico y químico británico Robert Boyle y el físico alemán Otto von Guericke utilizaron la bomba de vacío.

La culminación de esos esfuerzos fue la ley de la gravitación universal, expuesta en 1687 por el matemático y físico británico Isaac Newton en su obra *Philosophiae naturalis principia mathematica* (*Principios matemáticos de la filosofía natural*). Al mismo tiempo, la invención del cálculo infinitesimal por parte de Newton y del filósofo y matemático alemán Gottfried Wilhelm Leibniz sentó las bases para alcanzar el nivel actual de ciencia y matemáticas.

Los descubrimientos científicos de Newton y el sistema filosófico del matemático y filósofo francés René Descartes dieron paso a la ciencia materialista del siglo XVIII, que trataba de explicar los procesos vitales a partir de su base físico-química. La confianza en la actitud científica influyó también en las ciencias sociales e inspiró el llamado Siglo de las Luces, que culminó en la Revolución Francesa de 1789. El químico francés Antoine Laurent de Lavoisier publicó el *Tratado elemental de química* en 1789 e inició así la revolución de la química cuantitativa.

Los avances científicos del siglo XVII prepararon el camino para el siguiente siglo, llamado a veces 'siglo de la correlación' por las amplias generalizaciones que tuvieron lugar en la ciencia. Entre ellas figuran la teoría atómica de la materia postulada por el químico y físico británico John Dalton, las teorías electromagnéticas de Michael Faraday y James Clerk Maxwell, también británicos, o la ley de la conservación de la energía, enunciada por el físico británico James Prescott Joule y otros científicos.

La teoría biológica de alcance más global fue la teoría de la evolución, propuesta por Charles Darwin en su libro *El origen de las especies*, publicado en 1859, que provocó una polémica en la sociedad no sólo en los ámbitos científicos tan grande como la obra de Copérnico. Sin embargo, al empezar el siglo XX el concepto

de evolución ya se aceptaba de forma generalizada, aunque su mecanismo genético siguió siendo discutido.

Mientras la biología adquiría una base más firme, la física se vio sacudida por las inesperadas consecuencias de la teoría cuántica y la de la relatividad. En 1927 el físico alemán Werner Heisenberg formuló el llamado principio de incertidumbre, que afirma que existen límites a la precisión con que pueden determinarse a escala subatómica las coordenadas de un suceso dado. En otras palabras, el principio afirmaba la imposibilidad de predecir con precisión que una partícula, por ejemplo un electrón, estará en un lugar determinado en un momento determinado y con una velocidad determinada. La mecánica cuántica no opera con datos exactos, sino con deducciones estadísticas relativas a un gran número de sucesos individuales.

La ciencia en España y Latinoamérica

Los comienzos de la ciencia española se remontan (dejando aparte el primitivo saber de san Isidoro de Sevilla) a la civilización hispanoárabe y sobre todo a la gran escuela astronómica de Toledo del siglo XI encabezada por al-Zarqalluh (conocido por Azarquiel en la España medieval). Después de la conquista de la ciudad de Toledo por el rey Alfonso VI en 1085, comenzó un movimiento de traducción científica del árabe al latín, promovido por el arzobispo Raimundo de Toledo (véase Escuela de traductores de Toledo). Este movimiento continuó bajo el patrocinio de Alfonso X el Sabio y los astrónomos de su corte (entre los que destacó el judío Isaac ibn Cid); su trabajo quedó reflejado en los *Libros del saber de astronomía* y las *Tablas alfoncías*, tablas astronómicas que sustituyeron en los centros científicos de Europa a las renombradas *Tablas toledanas* de al-Zarqalluh.

En la primera mitad del siglo XVI España participó en el movimiento de renovación científica europea, en el que intervinieron de forma destacada Juan Valverde de Amusco, seguidor de Andrés Vesalio, y la escuela de los *calculatores* promotores de la renovación matemática y física a la que pertenecían Pedro Ciruelo, Juan de Celaya y Domingo de Soto. El descubrimiento de América estimuló avances, tanto en historia natural (con José de Acosta y Gonzalo Fernández de Oviedo) como en náutica (con Pedro de Medina, Martín Cortés y Alonso de Santa Cruz).

Después de que Felipe II prohibiera el estudio en el extranjero, la ciencia española entró en una fase de decadencia y neoescolasticismo de la cual no saldría hasta finales del siglo XVII, con el trabajo de los llamados *novatores*. Este grupo promovía semiclandestinamente las nuevas ideas de Newton y William Harvey, y a él pertenecían, entre otros, Juan Caramuel y Lobkowitz, Juan de Cabriada y Antonio Hugo de Omerique, cuya obra *Analysis Geometrica* (1698) atrajo el interés de Newton. En la misma época desde Nueva España, Diego Rodríguez comentó los hallazgos de Galileo.

El sistema newtoniano, todavía prohibido por la Iglesia, se difundió ampliamente en el mundo hispano del siglo XVIII, a partir de Jorge Juan y Antonio de Ulloa (socios del francés Charles de La Condamine en su expedición geodésica a los Andes) en la península Ibérica, José Celestino Mutis en Nueva Granada y Cosme Bueno en Perú.

El otro pilar de la modernización científica de la Ilustración fue Linneo, cuya nomenclatura binomial fascinó a toda una generación de botánicos europeos, estimulando nuevas exploraciones. En España, Miguel Barnades y más tarde sus discípulos Casimiro Gómez Ortega y Antonio Palau Verdera enseñaron la nueva sistemática botánica. El siglo XVIII fue la época de las expediciones botánicas y científicas al Nuevo Mundo, entre las que destacaron la de Mutis (corresponsal de Linneo) a Nueva Granada, la de Hipólito Ruiz y José Pavón a Perú, la de José Mariano Mociño y Martín de Sessé a Nueva España, y la de Alejandro Malaspina alrededor del globo. También en las colonias la ciencia floreció en instituciones como el Real Seminario de Minas de México, el Observatorio Astronómico de Bogotá o el Anfiteatro Anatómico de Lima.

Las Guerras Napoleónicas y de Independencia interrumpieron el avance de la ciencia tanto en la península Ibérica como en Latinoamérica. En España la recuperación fue muy lenta; la vida científica desapareció

prácticamente hasta la entrada de nuevas ideas el darwinismo en primer lugar como secuela de la Revolución de 1868 y la I República. En esta renovación científica desempeñó un papel fundamental el neurólogo Santiago Ramón y Cajal, primer premio Nobel español (en 1906 compartió el Premio Nobel de Fisiología y Medicina con el médico italiano Camillo Golgi por la estructura del sistema nervioso); también intervinieron José Rodríguez de Carracido en química, Augusto González de Linares en biología, José Macpherson en geología y Zoel García Galdeano en matemáticas. En América Latina pueden referirse como representativas de la renovación científica del siglo XIX una serie de instituciones positivistas: en México, la Sociedad de Historia Natural (1868), la Comisión Geográfico-Exploradora (1877) o la Comisión Geológica (1886); en Argentina, el Observatorio Astronómico (1882), el Museo de Ciencias Naturales (1884), la Sociedad Científica Argentina (1872), el Observatorio de Córdoba (1870), dirigido por el estadounidense Benjamin Gould, y la Academia de las Ciencias de Córdoba (1874); por último en Brasil, la Escuela de Minas de Ouro Preto, el Servicio Geológico de São Paulo y el Observatorio Nacional de Río de Janeiro.

Gracias al empuje que el Premio Nobel de Ramón y Cajal dio a la ciencia en general, en 1907 el gobierno español estableció la Junta para la Ampliación de Estudios para fomentar el desarrollo de la ciencia, creando becas para el extranjero y, algo más tarde, una serie de laboratorios. Cuando Pío del Río Hortega se instaló en el laboratorio de histología establecido por la Junta en la Residencia de Estudiantes de Madrid, se convirtió en el primer investigador profesional en la historia de la ciencia española. El centro de innovación en ciencias físicas fue el Instituto Nacional de Física y Química de Blas Cabrera, que a finales de la década de 1920 recibió una beca de la Fundación Rockefeller para construir un nuevo y moderno edificio. Allí trabajaron Miguel Angel Catalán, que realizó importantes investigaciones en espectrografía, y el químico Enrique Moles. En matemáticas el centro innovador fue el Laboratorio Matemático de Julio Rey Pastor, cuyos discípulos ocuparon prácticamente la totalidad de cátedras de matemáticas de España. Muchos de ellos fueron becados en Italia con Tullio Levi-Civita, Vito Volterra, Federigo Enriques y otros miembros de la gran escuela italiana, cuyo manejo del cálculo tensorial les había asociado con la relatividad general de Einstein. Rey Pastor fue un impulsor de la visita que Einstein realizó a España en 1923, en la que el físico alemán fue recibido sobre todo por matemáticos ya que la física estaba mucho menos desarrollada. En biomedicina, además de la neurohistología, adquirió relevancia la fisiología, dividida en dos grupos: el de Madrid, regido por Juan Negrín, quien formó al futuro premio Nobel Severo Ochoa, y el de Barcelona, dirigido por August Pi i Sunyer. Durante la década de 1920 ambos grupos trabajaron en la acción química de las hormonas, sobre todo de la adrenalina.

En América Latina la fisiología, al igual que en España, ocupaba el liderazgo en las ciencias biomédicas. Los argentinos Bernardo Houssay y Luis Leloir ganaron el Premio Nobel en 1947 y 1970 respectivamente; fueron los primeros otorgados a científicos latinoamericanos por trabajos bioquímicos. En física, distintos países consideraron que la física nuclear era el camino más práctico hacia la modernización científica, debido a la facilidad para obtener aceleradores de partículas de países europeos o de Norteamérica. No obstante, la física nuclear comenzó por su mínimo coste con el estudio de los rayos cósmicos. En la década de 1930, los brasileños Marcello Damy de Souza y Paulus Aulus Pompéia descubrieron el componente penetrante o 'duro' de los rayos cósmicos; en 1947 César Lattes, investigando en el Laboratorio de Física Cómica de Chacaltaya (Bolivia), confirmó la existencia de los piones (véase Física: *Partículas elementales*). También la genética resultó ser un campo de investigación fructífero en América Latina. En 1941 el genetista estadounidense de origen ucraniano Theodosius Dobzhansky emprendió el primero de sus viajes a Brasil donde formó a toda una generación de genetistas brasileños en la genética de poblaciones. Su objetivo era estudiar las poblaciones naturales de *Drosophila* en climas tropicales para compararlas con las poblaciones de regiones templadas que ya había investigado. Descubrió que las poblaciones tropicales estaban dotadas de más diversidad genética que las templadas y, por lo tanto, pudieron ocupar más 'nichos' ecológicos que éstas.

Tanto en España como en América Latina la ciencia del siglo XX ha tenido dificultades con los regímenes autoritarios. En la década de 1960 se produjo en Latinoamérica la llamada 'fuga de cerebros': en Argentina, por ejemplo, la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires perdió más del 70% del profesorado debido a las imposiciones del gobierno contra las universidades. Bajo la dictadura militar de la

década de 1980, los generales expulsaron de este país a los psicoanalistas, y el gobierno apoyó una campaña contra la 'matemática nueva' en nombre de una idea mal entendida de la matemática clásica. En Brasil, bajo la dictadura militar de la misma época, un ministro fomentó la dimisión de toda una generación de parasitólogos del Instituto Oswaldo Cruz, dando lugar a lo que se llamó 'la masacre de Manguinhos'.

Comunicación científica

A lo largo de la historia el conocimiento científico se ha transmitido fundamentalmente a través de documentos escritos, algunos de los cuales tienen una antigüedad de más de 4.000 años. Sin embargo, de la antigua Grecia no se conserva ninguna obra científica sustancial del periodo anterior a los *Elementos* del geómetra Euclides (alrededor del 300 a.C.). De los tratados posteriores escritos por científicos griegos destacados sólo se conservan aproximadamente la mitad. Algunos están en griego, mientras que en otros casos se trata de traducciones realizadas por eruditos árabes en la edad media. Las escuelas y universidades medievales fueron los principales responsables de la conservación de estas obras y del fomento de la actividad científica.

Sin embargo, desde el renacimiento esta labor ha sido compartida por las sociedades científicas; la más antigua de ellas, que todavía existe, es la Accademia dei Lincei (a la que perteneció Galileo), fundada en 1603 para promover el estudio de las ciencias matemáticas, físicas y naturales. Ese mismo siglo, el apoyo de los gobiernos a la ciencia llevó a la fundación de la Royal Society en Londres (1662) y la Académie des Sciences en París (1666). Estas dos organizaciones iniciaron la publicación de revistas científicas, la primera con el título de *Philosophical Transactions* y la segunda con el de *Mémoires*.

Durante el siglo XVIII, otras naciones establecieron academias de ciencias. En Estados Unidos, un club organizado en 1727 por Benjamin Franklin se convirtió en 1769 en la American Philosophical Society. En 1780 se constituyó la American Academy of Arts and Sciences, fundada por John Adams, quien fue el segundo presidente estadounidense en 1797. En 1831 se reunió por primera vez la British Association for the Advancement of Science, seguida en 1848 por la American Association for the Advancement of Science y en 1872 por la Association Française pour l'Avancement des Sciences. Estos organismos nacionales editan respectivamente las publicaciones *Nature*, *Science* y *Compte-Rendus*. El número de publicaciones científicas creció tan rápidamente en los primeros años del siglo XX que el catálogo *Lista mundial de publicaciones científicas periódicas editadas en los años 1900–1933* ya incluía unas 36.000 entradas en 18 idiomas. Muchas de estas publicaciones son editadas por sociedades especializadas dedicadas a ciencias concretas.

Desde finales del siglo XIX la comunicación entre los científicos se ha visto facilitada por el establecimiento de organizaciones internacionales, como la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (1873) o el Consejo Internacional de Investigación (1919). Este último es una federación científica subdividida en uniones internacionales para cada una de las ciencias. Las uniones celebran congresos internacionales cada pocos años, cuyos anales suelen publicarse. Además de las organizaciones científicas nacionales e internacionales, muchas grandes empresas industriales tienen departamentos de investigación, de los que algunos publican de forma regular descripciones del trabajo realizado o envían informes a las oficinas estatales de patentes, que a su vez editan resúmenes en boletines de publicación periódica.

Campos de la ciencia

Originalmente el conocimiento de la naturaleza era en gran medida la observación e interrelación de todas las experiencias, sin establecer divisiones. Los eruditos pitagóricos sólo distinguían cuatro ciencias: aritmética, geometría, música y astronomía. En la época de Aristóteles, sin embargo, ya se reconocían otros campos: mecánica, óptica, física, meteorología, zoología y botánica. La química permaneció fuera de la corriente principal de la ciencia hasta la época de Robert Boyle, en el siglo XVII, y la geología sólo alcanzó la categoría de ciencia en el siglo XVIII. Para entonces el estudio del calor, el magnetismo y la electricidad se había convertido en una parte de la física. Durante el siglo XIX los científicos reconocieron que las matemáticas

puras se distinguían de las otras ciencias por ser una lógica de relaciones cuya estructura no depende de las leyes de la naturaleza. Sin embargo, su aplicación a la elaboración de teorías científicas ha hecho que se las siga clasificando como ciencia.

Las ciencias naturales puras suelen dividirse en ciencias físicas y químicas, y ciencias de la vida y de la Tierra. Las principales ramas del primer grupo son la física, la astronomía y la química, que a su vez se pueden subdividir en campos como la mecánica o la cosmología. Entre las ciencias de la vida se encuentran la botánica y la zoología; algunas subdivisiones de estas ciencias son la fisiología, la anatomía o la microbiología. La geología es una rama de las ciencias de la Tierra.

Sin embargo, todas las clasificaciones de las ciencias puras son arbitrarias. En las formulaciones de leyes científicas generales se reconocen vínculos que relacionan las ciencias entre sí. Se considera que estas relaciones son responsables de gran parte del progreso actual en varios campos de investigación especializados, como la biología molecular y la genética. Han surgido varias ciencias interdisciplinares, como la bioquímica, la biofísica, las biomatemáticas o la bioingeniería, en las que se explican los procesos vitales a partir de principios físico-químicos. Los bioquímicos, por ejemplo, sintetizaron el ácido desoxirribonucleico (ADN); la cooperación de biólogos y físicos llevó a la invención del microscopio electrónico, que permite el estudio de estructuras poco mayores que un átomo. Se prevé que la aplicación de estos métodos interdisciplinares produzca también resultados significativos en el terreno de las ciencias sociales y las ciencias de la conducta.

Las ciencias aplicadas incluyen campos como la aeronáutica, la electrónica, la ingeniería y la metalurgia ciencias físicas aplicadas o la agronomía y la medicina ciencias biológicas aplicadas. También en este caso existe un solapamiento entre las ramas. Por ejemplo, la cooperación entre la iatrofísica (una rama de la investigación médica basada en principios de la física) y la bioingeniería llevó al desarrollo de la bomba corazón-pulmón empleada en la cirugía a corazón abierto y al diseño de órganos artificiales como cavidades y válvulas cardíacas, riñones, vasos sanguíneos o la cadena de huesecillos del oído interno. Este tipo de avances suelen deberse a las investigaciones de especialistas procedentes de diversas ciencias, tanto puras como aplicadas. La relación entre teoría y práctica es tan importante para el avance de la ciencia en nuestros días como en la época de Galileo.

Mitos modernos de la Historia de la Ciencia

Consideraremos las siguientes afirmaciones:

- *En la Antigüedad y en la Edad Media se creía que la Tierra es plana. Colón demostró que es redonda.*

En realidad, la mayor parte de las personas informadas saben perfectamente que este lugar común es falso, pero está muy extendido entre lo que podríamos llamar *el hombre de la calle*. Enfrentándose a esta idea preconcebida, Isaac Asimov escribió: *Lo que demostró Colón es que no importa cuán equivocado estés, mientras tengas suerte.*

Como todas las personas educadas de la Edad Media y de la Antigüedad, Colón sabía que la Tierra era redonda. Pero, al revés que los geógrafos portugueses, que estimaban su circunferencia en unos 40000 km, él creía que sólo medía unos 25000 (naturalmente, no medían en km). Por eso pensó que, si las Indias se encuentran a unos 20000 km de Europa Occidental por el camino del este, por el del oeste debían estar mucho más cerca, a unos 5000 km. Los portugueses rechazaron su oferta porque un viaje de 20000 km por mar abierto (con las cifras que ellos manejaban) estaba fuera del alcance de la náutica de la época. A pesar de todo, Colón lo intentó con ayuda de España, y tuvo la suerte de encontrar un continente desconocido a unos 5000 km de su punto de partida. Él siempre creyó haber demostrado sus teorías, pero los que tenían razón eran los portugueses.

La redondez de la Tierra era ya conocida por los griegos, varios siglos antes de Cristo. Aristóteles (384–322 a.C.) resumió los argumentos principales que la demostraban:

- Cuando un barco se aleja en cualquier dirección, lo primero que desaparece es el casco, luego las velas. Esto demuestra que la superficie del mar es curva. Además, el efecto no depende de la dirección del barco, así que el mar (y por tanto la Tierra) tiene la misma curvatura en todas direcciones. La única figura que posee esa propiedad es la esfera. Luego la Tierra es esférica.
- Durante un eclipse de luna, la Tierra se interpone entre el sol y la luna, arrojando su sombra sobre ésta. La forma de la sombra es siempre circular, cualquiera que sea la posición del sol y de la luna en el momento del eclipse. Pero la esfera es la única figura que arroja siempre una sombra circular en cualquier dirección. Luego la Tierra es una esfera.
- Al viajar en dirección hacia el norte o al sur, las constelaciones se desplazan. Algunas desaparecen a nuestras espaldas, otras nuevas surgen ante nosotros. Esto indica que la superficie de la Tierra es curva. No demuestra que sea una esfera, pero la unión de los tres argumentos tiene una fuerza de convicción abrumadora.

Eratóstenes de Cirene (276–194 a.C.) fue aún más lejos. Basándose en la distinta inclinación de los rayos del sol durante el solsticio de verano en dos localidades de Egipto (Siena y Alejandría) dedujo la longitud de la circunferencia de la Tierra, estimándola en unos 25000 estadios (de 39000 a 45000 km). El valor real es próximo a los 40000 km. El cálculo de Eratóstenes fue la causa de que los geógrafos portugueses rechazaran los planes de Colón.

Sólo la gente ignorante creía, durante la Edad Media, la leyenda de que la Tierra es plana y los barcos que llegarán a su extremo se caerán. En la *Divina Comedia*, Dante da por supuesta la redondez de la Tierra. Coloca al Purgatorio en una isla situada en las antípodas de Jerusalén (viene a caer en medio del Pacífico, un poco al sur de las islas Tubuai).

El infierno, en cambio, es un cono que penetra hasta el centro de la Tierra, que coincide con su vértice. Al llegar allí, Dante introduce un sorprendente efecto de ciencia–ficción: Para pasar al otro hemisferio, Dante y Virgilio deben descender agarrándose a los pelos de Satanás, que está hundido en el hielo en el mismísimo centro de la Tierra. Pero en el momento de pasar por él, tienen que darse la vuelta, porque la dirección de la gravedad se ha invertido.

- *En la Antigüedad y en la Edad Media creían que la Tierra es muy grande. La Astronomía moderna ha demostrado que es infinitesimal, comparada con el universo.*

Esta leyenda está más extendida que la anterior, y muchas personas educadas la creen. En realidad, es tan falsa como la otra.

Dos siglos antes de Cristo, Arquímedes (287–212 a.C.) escribió un libro,

El Arenario, en el que describe su intento de calcular cuestiones tan modernas como el número de partículas del universo y la distancia de las estrellas (en su tiempo se creía que todas las estrellas fijas estaban situadas a la misma distancia de nosotros). Para trabajar con números tan grandes, se vio obligado a idear su propio sistema de numeración, detallado en ese libro. Transformado a las medidas que hoy utilizamos, su resultado es asombrosamente exacto: las estrellas estarían a una distancia aproximada de un año–luz. Hoy sabemos que la más próxima (alfa–centauro C) se encuentra a 4,27 años–luz, lo que indica que Arquímedes, en su primer intento, acertó al menos el orden de magnitud.

Los cálculos de Arquímedes eran conocimiento común de todos los eruditos de la antigüedad. Claudio

Ptolomeo (100–170) escribió en su *He Mathematik Syntaxis* (más conocido por su nombre árabe, *Almagesto*): *La Tierra, en relación con la distancia de las estrellas fijas, no tiene tamaño apreciable y debe considerarse como un punto matemático* (Libro I, Capítulo 5). Recuérdese que el *Almagesto* fue el texto estándar de Astronomía durante toda la Edad Media. El mito, por tanto, cae por tierra.

- *En la Antigüedad y en la Edad Media creían que la Tierra está en el centro del universo y, por tanto, que es el astro más importante del cosmos. Copérnico, al quitarle el lugar central, le quitó también su importancia.*

Este mito ha alcanzado una propagación casi universal, incluso en ambientes científicos e históricos, a pesar de que es tan falso como los anteriores. No existen referencias antiguas o medievales en las que pueda basarse. Por el contrario, el desprecio de la Tierra y de las actividades de sus habitantes, al considerarla en el ámbito más extenso del cosmos, es uno de los lugares comunes de la literatura de aquellas épocas. Citemos algunos ejemplos:

- Cicerón, en su *Somnium Scipionis*, hace emprender a Escipión un viaje por las esferas celestes. Al mirar hacia la Tierra desde las alturas y verla tan pequeña (ver el mito anterior), Escipión se asombra por la importancia que se da en aquella mota a cosas tan ridículas como el Imperio Romano (que ni siquiera es visible desde donde él está).
- Lucano, en *La Farsalia*, presenta una situación parecida.
- Dante, en la *Divina Comedia*, realiza también un viaje por las esferas celestes de Ptolomeo, en las que sitúa el Paraíso. Al llegar a la esfera de Saturno, se vuelve a mirar a la Tierra, que como de costumbre le parece pequeñísima y digna de menosprecio, que expresa en las palabras (*Paradiso*, 22:133–135):

Col viso ritornai per tutte quante

le sette spere, e vidi questo globo

tal, ch'io sorrisi del suo vil sembiante.

Dante presenta en *Paradiso* una estructura dual del cosmos. En el mundo material, formado por las nueve esferas ptolemaicas, un astro es tanto menos importante cuanto más cerca del centro se encuentra. La Tierra, por consiguiente, ocupa el lugar ínfimo en razón de su posición (nótese que esta interpretación es justamente la opuesta del mito). En el mundo dual del empíreo (la morada de Dios) el centro (Dios) es lo más importante, y las nueve esferas que le rodean (correspondientes a las nueve especies angélicas) son tanto más señaladas cuanto más cercanas al centro.

- *La Ciencia ha demostrado que Dios no existe; que el hombre no tiene alma; que no hay vida después de la muerte.*

La Ciencia no puede demostrar ninguna de esas cosas. Todas ellas quedan fuera del método científico (del que hablaremos más adelante). Naturalmente, este mito ha sido difundido por personas opuestas a la Religión, y no es más que una expresión de lo que la lengua inglesa llama *wishful thinking*, de difícil traducción al español.

En 1917 se realizó una encuesta sobre las creencias religiosas de las personas de los Estados Unidos de América dedicadas al cultivo de la Ciencia. El resultado fue de, aproximadamente, un 50% de creyentes. De aquí se predijo que, a lo largo del siglo XX, las creencias religiosas de los científicos desaparecerían por completo.

En 1997, exactamente ochenta años después, se repitió la encuesta. El resultado fue muy parecido al de la anterior: alrededor de un 50% de científicos estadounidenses son creyentes. En consecuencia, la predicción de 1917 ha fracasado. Sin embargo, los comentaristas de la nueva encuesta aseguran que este resultado hace prever que las creencias religiosas de los científicos desaparecerán durante el siglo XXI, lo que prueba que el hombre puede tropezar dos veces en la misma piedra.

Una división de opiniones al 50% en una cuestión ajena a la ciencia, parece un resultado razonable, incluso predecible.

- *Sólo utilizamos el 10% del cerebro.*

Este *neuromito* ha recibido mucha publicidad durante el siglo XX, favorecido por el patrocinio de los cursos Dale Carnegie y el apoyo de figuras tan espectaculares como Albert Einstein. Sostiene que nuestro cerebro está infrautilizado y que es capaz de realizar esfuerzos diez veces superiores a los normales, lo que parece alentar las teorías de los defensores de la existencia de potencialidades humanas ocultas, como la telepatía, la clarividencia o la psicocinética.

En realidad, el mito surgió como consecuencia de un malentendido.

Allá por los años treinta, los neurólogos descubrieron que las especies con sistema nervioso más complejo (entre las que destaca el hombre) dedican una menor proporción de la masa cerebral a las funciones sensorio-motoras. Se aplicó el nombre de *córtex silencioso* a las áreas cerebrales dedicadas a otras actividades, entre las que destacan el lenguaje y el pensamiento abstracto. El título de *silencioso* hizo pensar equivocadamente a algunos no expertos (como Einstein) que esa parte del cerebro estaba desocupada. Experimentos recientes realizados con tomografía de emisión de positrones han demostrado que en el cerebro humano no existen zonas infrautilizadas.

El mito del Progreso Indefinido

El concepto de Progreso es relativamente moderno. Durante la Edad Media y el Renacimiento dominó la teoría de que los grandes maestros de la Antigüedad eran insuperables. Cualquier teoría nueva tenía que apoyarse en una demostración de que aquello, aunque mal entendido, había sido dicho antes por Aristóteles, Euclides, o la autoridad de turno. De aquí el poco interés de los pensadores de aquella época por la originalidad y lo que hoy llamamos "derechos de autor", siendo frecuente que las obras filosóficas o literarias fuesen falsamente atribuidas a los maestros de antaño.

Francis Bacon (1561–1626) fue uno de los primeros en lanzar la idea revolucionaria de que *los grandes hombres del pasado no sabían necesariamente más que el hombre actual*, que abrió camino al concepto del Progreso, apoyado posteriormente por René Descartes (1596–1650) y Bernard de Fontenelle (1657–1757), que fue el primero en afirmar que, desde el punto de vista biológico, los pueblos antiguos y modernos son esencialmente iguales.

Durante el siglo XVIII surgió la teoría del Progreso Indefinido, que invierte la idea medieval de un pasado mejor y sostiene que el futuro es siempre superior al presente. El Abbé St. Pierre (1658–1753), Turgot (1727–1781) y, sobre todo, Condorcet (1743–1794) pueden considerarse los padres de la idea. El último llegó a dividir la Historia en diez etapas sucesivas. La décima, en la que nos encontramos, es la de la ciencia, el racionalismo y la revolución, que abrirá paso a una era de prosperidad, tolerancia e ilustración. (La Utopía siempre está a la vuelta de la esquina).

En el siglo XIX, la teoría del Progreso Indefinido pareció haberse impuesto. Auguste Comte (1798–1857) insiste sobre las etapas sucesivas de Condorcet, que reorganiza en tres: la teológico-militar, la metafísico-jurídica y la científico-industrial. Naturalmente, ninguna de las etapas tiene vuelta atrás. Nuestra

llegada a la era científica es definitiva.

El auge del evolucionismo, a partir de mediados del siglo XIX, dio una nueva expresión al principio del Progreso Indefinido, que pasó a definirse en términos biológicos: *La evolución biológica es un proceso que conduce indefectiblemente a más y más complejidad*. La idea había sido ya entrevista, treinta años antes, por el movimiento romántico. John Keats (1795–1821) había escrito en su poema *Hyperion* (1820), publicado casi cuatro décadas antes que *El origen de las especies* de Darwin:

"It is the eternal law

that first in beauty should be first in might."

Las ideas de Comte se fundieron con las de Darwin en la obra de Herbert Spencer (1820–1903) y Karl Marx (1818–1903), que sostienen que *la evolución social es automática e inevitable*. Como sus antecesores, Marx divide la Historia en varias etapas sucesivas y *progresivas* (tribalismo, régimen esclavista, feudalismo, capitalismo y socialismo) y prevé como inevitable el paso a la última a través de la dictadura del proletariado y la sociedad sin clases.

En una línea paralela, pero estrictamente biológica, podemos colocar la teoría de la Ortogénesis de Karl Wilhelm von Nägely (1817–1891), para quien la evolución biológica es un proceso con una dirección predeterminada, empujado por alguna acción externa o interna no muy bien definida (como la fuerza vital de Henri Bergson). Esta teoría tuvo mucho ascendiente hasta bien entrado el siglo XX, y aún se nota su influencia en la obra de Pierre Teilhard de Chardin.

En su forma evolucionista, el principio del Progreso Indefinido se plasmó, a principios de este siglo, en una forma mítica de indudable atractivo, que aunque prácticamente desterrada del acervo científico, ha ganado la imaginación popular. En su forma literaria, el mito se plasmó en las obras *Back to Metuselah* (1922) de George Bernard Shaw (1856–1950) y *The outline of History* (1920) de H.G. Wells (1866–1946). Presenta la evolución como una lucha permanente por la existencia, en la que las especies aparentemente más débiles sobreviven frente a enemigos monstruosos: ¿Quién podría prever el triunfo de los procordados durante la explosión cámbrica? ¿O el de los peces crossoptérigios (de los que surgieron los vertebrados terrestres) frente a los teleósteos? ¿O el de los mamíferos frente a los reptiles gigantes? ¿O el del hombre frente a un entorno hostil? Pero en todos esos casos la inteligencia (el progreso) acaba venciendo a la fuerza bruta. El hombre ocupa al fin su papel en la cumbre: domina el mundo, se abre ante él una etapa indefinida de progreso científico. Sin embargo, en este punto el mito introduce un final verdaderamente grandioso: nada menos que el crepúsculo de los dioses, de la epopeya germánica de los Eddas y los Nibelungos. El aumento insoslayable de la entropía nos lleva hacia un final catastrófico. El cosmos terminará en una conflagración térmica o en una desintegración helada. Nada que podamos hacer logrará detenerlo. El Progreso Indefinido está destinado a la destrucción final.

Reacciones contra el Progreso Indefinido

Pero el mismo siglo XX que vio nacer la formulación épica del mito evolucionista iba a ser testigo de las primeras reacciones en su contra:

- Los biólogos de la escuela neodarwinista se opusieron con todas sus fuerzas a la idea de una evolución dirigida, introduciendo el azar y la Estadística como elemento y herramienta fundamentales para el estudio de esta ciencia. La evolución no resulta ser, después de todo, un proceso de complejificación creciente inevitable. Los retrocesos, las detenciones y la contingencia están a la orden del día. En palabras del biólogo británico J.B.S. Haldane, *por cada caso de progreso hay diez de degeneración*.

- Un filósofo, Oswald Spengler (1880–1936) anunció que el Progreso Indefinido de nuestra civilización no sólo podría detenerse algún día, sino que, de hecho, está ya detenido. Su obra *Decadencia de Occidente* (1923) tuvo una gran influencia en el ambiente depresivo de la primera postguerra mundial.
- Un historiador, Arnold Toynbee (1889–1975) sostuvo en su monumental *Estudio de la Historia* que las civilizaciones nacen, crecen, se esclerotizan, y mueren (o se transforman en fósiles vivientes), aunque pueden dejar descendencia. El Progreso Indefinido resulta así ser un fenómeno real, pero estadístico, difícilmente medible, excepto a distancia, comparable al avance de un automóvil como consecuencia del de las ruedas: un punto sobre la superficie de la rueda (la civilización) sólo sube y baja. El coche, sin embargo, avanza.
- Un antropólogo, Alfred Louis Kroeber (1876–1960) sostuvo, en su *Configurations of Culture Growth*, que los genios no suelen nacer solos, sino que forman configuraciones de grandes hombres, precedidas por precursores y seguidas por decadencias. De nuevo, frente al Progreso Indefinido, tenemos una infinita sucesión de altibajos.
- Un sociólogo, Pitirim Alexandrovitch Sorokin (1889–1968) acumuló datos cuantitativos en su *Dinámica Social y Cultural*, que sugieren que las actividades culturales intelectuales (ciencia y filosofía, principalmente) forman ciclos de larga duración (del orden de dos mil años) en los que alternan fases intuicionistas (con predominio de la filosofía y la religión) con fases sensitivas (en las que prepondera la ciencia). Actualmente nos encontramos en una de las últimas, pero se puede prever que, más pronto o más tarde, esta fase terminará, como terminaron todas sus predecesoras.

La situación de la Ciencia moderna

¿Existen indicios que nos hagan pensar que la evolución de la Ciencia occidental moderna, que se ha prolongado triunfalmente durante cinco siglos en un ascenso siempre creciente, esté próxima a detenerse o incluso a retroceder? ¿Tienen razón los críticos de la teoría del Progreso Indefinido? Algunos análisis cualitativos y cuantitativos pueden arrojar luz sobre estas cuestiones.

- Una cuantificación sencilla de la evolución de la ciencia grecorromana y medieval nos demuestra que, en los veinte siglos que van desde el siglo VI antes de Cristo al XIV después de Cristo, hubo varias configuraciones sucesivas y casi independientes de desarrollo científico, con picos bien marcados en el siglo V antes de Cristo, el siglo II después de Cristo, y el siglo XIII. Estos picos fueron seguidos por decadencias reales, lo que confirma la teoría oscillatoria de los avances científicos contra la del Progreso Indefinido. La cuantificación ha sido obtenida asignando pesos a los científicos en función del número de líneas de sus biografías en enciclopedias de varios países.
- Una cuantificación semejante realizada sobre los datos de la ciencia occidental moderna nos presenta una situación parecida: el avance continuo y siempre hacia más y más descubrimientos científicos es ilusorio. Hemos tenido ya algunas cumbres bien marcadas en los siglos XVII y XVIII, seguidos por descensos apreciables, aunque el enorme desarrollo científico de los siglos XIX y XX nos ha hecho perder de vista la realidad. El futuro no está claro: de hecho, aunque nuestros datos indican un descenso significativo durante la segunda mitad del siglo XX, el efecto podría deberse a la cercanía, que hace perder perspectiva, y al hecho de que los científicos jóvenes, nacidos después de 1950, aún no han dado de sí todo lo que podrían (o aún no se les ha reconocido).
- La descomposición por países de la cuantificación de la ciencia occidental hace resaltar aún más el carácter configurativo y oscillatorio de estos movimientos culturales en los cuatro países más importantes en este campo. Alemania ha tenido no menos de cinco cumbres desde el siglo XV; Gran Bretaña presenta otros cinco máximos bien marcados, Francia cuatro. En cuanto a los Estados Unidos, se han convertido durante el siglo XX en el país dominante, pues más de la mitad del esfuerzo

científico de nuestra civilización se apoya actualmente en él.

- Una medida interesante de la evolución del progreso científico durante el siglo XX viene dada por los premios Nobel, que recompensan los avances más significativos en los campos de la Física, la Química, la Fisiología y la Medicina. De la cuantificación realizada se deducen algunas tendencias preocupantes, como el envejecimiento progresivo de los científicos que los han recibido. Se ha pasado de una media de edad de 47 años a los 60 de la década de los noventa. En contraposición, el número de premios Nobel recibidos por personas con menos de 40 años ha descendido desde nueve en los años treinta y cincuenta, hasta cero en los noventa. Sirva de señal de esta evolución el hecho de que aún no ha recibido un premio Nobel ninguna persona nacida después de 1950.
- Existe una clara tendencia en la ciencia moderna hacia la desaparición de los genios. En siglos pasados, ciertas personas destacaron muy por encima de sus contemporáneos y pasaron al acervo popular como nombres mundialmente conocidos. Citemos a Copérnico, Galileo, Descartes, Newton, Linneo, Franklin, Gauss, Darwin, Pasteur, Edison, Ramón y Cajal, Freud, Madame Curie, Einstein y Heisenberg, entre muchos otros. En los últimos tiempos, este fenómeno ha desaparecido. La única figura que ha obtenido modernamente una fama comparable a la de los mencionados es la de Stephen Hawking, que la debe en parte a razones ajena a sus logros científicos. La misma tendencia se revela en la distribución de los premios Nobel individuales, que ha descendido continuamente desde 25 en la primera década del siglo XX hasta 6 en la última. El desarrollo científico se está polarizando alrededor de grupos de trabajo integrados, en lugar de grandes personalidades. No está claro qué se puede deducir de esta tendencia. No es evidente que esto deba dar lugar a una detención futura de dicho desarrollo.

Pero existen en la actualidad otros síntomas preocupantes.

Desconfianza en la Ciencia

Se está extendiendo cada vez más en el hombre de la calle una desconfianza creciente hacia los científicos y los avances que realizan. A mediados de este siglo era frecuente (especialmente en la literatura de ciencia-ficción) la previsión de que en el futuro la sociedad podría estar gobernada por científicos, como una forma moderna de *La República* de Platón. Esta idea ha desaparecido casi por completo. La desconfianza en la Ciencia se debe a varias causas, que al actuar conjuntamente han empeorado la situación:

- La ignorancia. La educación científica es claramente insuficiente. Estudios estadísticos realizados en los Estados Unidos estiman en poco más de un 5% la proporción de la población adulta que puede considerarse científicamente alfabetizada (es decir, que son capaces de comprender las cuestiones más elementales). Existen muchas razones para ello: la ciencia se enseña en clase como un ejercicio académico desligado de la vida real. Se aprenden procedimientos, pero no se enseña a aplicarlos en la práctica cotidiana, por ejemplo, en la detección de las falacias estadísticas con que los gobiernos y la prensa nos regalan todos los días (véase *200% of nothing*, por A.K.Dewdney, Wiley, 1993).
- Poca comunicación entre los científicos y el público. La Ciencia siempre ha resultado esotérica para la mayor parte de la gente. La divulgación científica a través de los medios de comunicación ha realizado un enorme esfuerzo durante los años ochenta y principios de los noventa, pero su década de oro parece haber terminado: los suplementos científicos de los periódicos de mayor difusión se acortan o desaparecen, en televisión sólo quedan documentales sobre los seres vivos.
- Otro problema importante es el retraso de años entre la publicación de los descubrimientos científicos y su aplicación práctica. Grandes titulares anuncian avances espectaculares en la curación del cáncer o de las enfermedades genéticas, que luego desaparecen por completo durante largo tiempo de los medios de comunicación, lo que mueve al hombre de la calle a sacar la conclusión de que los

supuestos descubrimientos científicos no valían para nada. Este efecto empeora porque el ansia por publicar, concomitante a la situación actual de las carreras científicas, mueve a muchos a hacer públicos sus descubrimientos antes de tiempo y en medios no estándar (recuérdese el caso de la fusión fría).

- Los peligros de la Ciencia. Durante el siglo XX, la Ciencia ha dejado de ser, en la mentalidad popular, la panacea que resolvería todos nuestros problemas, pasando a convertirse en uno de los monstruos que amenazan nuestra supervivencia. Primero ha sido la carrera de armamentos, que llevó a la acumulación de armas de destrucción masiva suficientes para acabar varias veces con la vida en la Tierra.

Después vino la ingeniería genética, con la amenaza de manipulación de personas y generaciones inherente en algunos de sus descubrimientos, así como del mal uso de los conocimientos obtenidos (clonación, patentes, discriminación genética). La Medicina también ha contribuido al des prestigio científico con su incesante cambio de modas y consejos: lo que ayer era malo para la salud, hoy es bueno, y viceversa. Y no hablemos de los experimentos sobre animales y, sobre todo, seres humanos, realizados a veces en condiciones inaceptables.

Amenazas a la Ciencia

Como consecuencia de esto, se está extendiendo cada vez más un estado de opinión desfavorable a la Ciencia en general, que comienza a pasar al ataque contra las bases fundamentales del conocimiento. Entre los movimientos anticientíficos más extendidos en la actualidad destacan los siguientes:

- El ecologismo radical, que se opone al avance científico y promueve la renuncia a los descubrimientos científico-técnicos y el regreso a un estilo más natural de vida, sin comprender que son esos descubrimientos los que hicieron posible el aumento de la población mundial. Si retrocediésemos al nivel técnico de hace dos o tres siglos, la Tierra sería incapaz de mantenernos. El resultado sería la guerra total.
- El feminismo radical, que sostiene que la Ciencia actual es machista y que hay que destruirla y empezar de nuevo para darle un carácter más feminista. Este es uno de los muchos movimientos que, al negar la existencia de la verdad objetiva, mina los fundamentos de la investigación científica y podría llevarnos (si tuviera éxito) directamente a la catástrofe. Emparentados con él están diversas formas de corrección política que aplican las mismas ideas a razas o minorías no privilegiadas y que abogan por la destrucción, en lugar de la integración.
- El Constructivismo, doctrina filosófica que se ha desarrollado mucho durante la segunda mitad del siglo XX, niega la existencia de la verdad objetiva y propone que todos los descubrimientos de la Ciencia son meras construcciones sociales. En circunstancias distintas se habrían podido obtener resultados opuestos. Aunque, como todos los extremismos, esta doctrina se apoya en un principio válido (la influencia de la sociedad sobre la *dirección* que toma la investigación científica), al aplicarlo a los hechos y negar la existencia de la verdad, el Constructivismo a ultranza se convierte en una teoría falaz y peligrosa.
- La epistemología democrática trata de aplicar los principios de la democracia a la investigación científica. Pero la Ciencia nunca ha sido democrática, ni puede serlo. La opinión de la mayoría no tiene ninguna validez *per se*, porque siempre puede cambiarse con razonamientos. Mil ejemplos de la historia nos demuestran que una sola persona, enfrentada a todo el resto de sus colegas, puede tener finalmente razón.

Muchos de los movimientos anteriores, y otros semejantes, se enfrentan directamente con la razón y el método científico, que se ha empleado con resultados espectaculares desde principios del siglo XVII. Muchas

pseudociencias se han apoderado de la imaginación popular, reciben el apoyo masivo de los medios de comunicación y están introduciendo cabezas de puente incluso en las universidades:

- La Parapsicología, en sus dos versiones principales: la percepción extrasensorial (ESP, clarividencia, precognición, telepatía) y la psicocinética.
- La Astrología, que a finales del siglo XX está alcanzando un auge sin precedentes desde los tiempos de los Imperios Romano y Chino.
- La investigación del *fenómeno ovni* (Ufología).
- El creacionismo antievolucionista, que afortunadamente es casi desconocido a este lado del Atlántico.

Frente a estos ataques, el método científico sólo puede defenderse acudiendo a sus éxitos probados, que se basan en seis principios fundamentales:

- Honradez: la evidencia debe evaluarse sin engaños.
- Repetibilidad: los resultados de los experimentos deben poder repetirse.
- Refutabilidad: debe ser posible idear evidencias que prueben que una afirmación es falsa. Los parapsicólogos rechazan este principio cuando afirman que sus experimentos no funcionan cuando está presente algún escéptico, con lo que es imposible refutarlos.
- Totalidad: debe considerarse toda la evidencia disponible. No sólo los casos favorables, sino también los desfavorables. Ejemplo: *Ayer pensé en Fulano y al poco rato me llamó por teléfono*. Hay que saber también cuántas veces pensé en Fulano y no me llamó por teléfono, y cuántas veces me llamó Fulano sin que yo hubiera pensado en él. Sólo con esos tres datos se puede estimar si la coincidencia entra en las previsiones del cálculo de probabilidades.
- Suficiencia: la prueba de una afirmación es responsabilidad del que afirma. Los testimonios personales no son pruebas científicas. Las personas se equivocan o pueden mentir. El fraude científico no es desconocido, aunque sí poco frecuente.
- Lógica: los argumentos deben ser válidos (la conclusión se deduce correctamente de las premisas) y sólidos (las premisas son verdaderas).

Capítulo II

Evolución de la Tecnología

La tecnología en la antigüedad y en la edad media

La tecnología ha sido un proceso acumulativo clave en la experiencia humana. Es posible que esto se comprenda mejor en un contexto histórico que traza la evolución de los primeros seres humanos, desde un periodo de herramientas muy simples a las redes complejas a gran escala que influyen en la mayor parte de la vida humana contemporánea. Con el fin de mantener la sencillez del siguiente resumen, se tratan con mayor detalle los desarrollos del mundo industrializado, pero también se incluyen algunos desarrollos de otras culturas.

La tecnología primitiva

Los artefactos humanos más antiguos que se conocen son las hachas manuales de piedra encontradas en África, en el este de Asia y en Europa. Datán, aproximadamente, del 250.000 a.C., y sirven para definir el comienzo de la edad de piedra. Los primeros fabricantes de herramientas fueron grupos nómadas de cazadores que usaban las caras afiladas de la piedra para cortar su comida y fabricar ropa y tiendas. Alrededor del 100.000 a.C., las cuevas de los ancestros homínidos de los hombres modernos (véase Hominización) contenían hachas ovaladas, rascadores, cuchillos y otros instrumentos de piedra que indicaban que el hacha de mano original se había convertido en una herramienta para fabricar otras herramientas. Muchos miembros del reino animal utilizan herramientas, pero esta capacidad para crear herramientas que, a su vez, sirvan para fabricar otras distingue a la especie humana del resto de los seres vivos.

El siguiente gran paso de la tecnología fue el control del fuego. Golpeando piedras contra piritas para producir chispas es posible encender fuego y liberarse de la necesidad de mantener los fuegos obtenidos de fuentes naturales. Además de los beneficios obvios de la luz y el calor, el fuego también se usó para cocer cacharros de arcilla, fabricando recipientes resistentes que podían utilizarse para cocinar cereales y para la infusión y la fermentación.

La tecnología primitiva no estaba centrada solamente en las herramientas prácticas. Se pulverizaron minerales de color para obtener pigmentos, que se aplicaban al cuerpo humano, a utensilios de arcilla, a cestas, ropa y otros objetos. En su búsqueda de pigmentos, las gentes de la antigüedad descubrieron el mineral verde llamado malaquita y el mineral azul denominado azurita. Cuando se golpeaban estas menas, ricas en cobre, no se convertían en polvo, sino que se doblaban; se podían pulir, pero no partir. Por estas cualidades, el cobre en trozos pequeños se introdujo muy pronto en la joyería.

Estos pueblos también aprendieron que, si este material era forjado repetidamente y puesto al fuego, no se partía ni se agrietaba. Este proceso de eliminación de tensiones del metal, llamado recocido, fue introducido por las civilizaciones de la edad de piedra, sobre todo cuando hacia el año 3000 a.C. se descubrió también que la aleación de estaño y cobre producía bronce (véase Edad del bronce). El bronce no es sólo más maleable que el cobre, sino que también proporciona una mejor arista, una cualidad necesaria para objetos como hachas y espadas.

Aunque había depósitos de cobre en Siria y Turquía, en las cabeceras de los ríos Tigris y Éufrates, los mayores depósitos de cobre del mundo antiguo se encontraron en la isla de Creta. Con el desarrollo de barcos capaces de navegar para llegar a este recurso extremadamente valioso, Knósos (en Creta) se convirtió en un rico centro minero durante la edad del bronce.

Desarrollo de la agricultura

Cuando llegó la edad del bronce, las distintas sociedades distribuidas por cada continente habían conseguido ya varios avances tecnológicos. Se desarrollaron arpones con púas, el arco y las flechas, las lámparas de aceite animal y las agujas de hueso para fabricar recipientes y ropa. También se embarcaron en una revolución cultural mayor, el cambio de la caza y la recolección nómada a la práctica sedentaria de la agricultura.

Las primeras comunidades agrícolas surgieron al final de la glaciación más reciente (hacia el año 10.000 a.C.). Sus huellas pueden encontrarse en áreas muy lejanas entre sí, desde el sureste de Asia hasta México. Las más famosas se dieron en Mesopotamia (el Irak actual) en los valles de las riberas fértiles y templadas del Tigris y el Éufrates. El suelo de estas fértiles laderas se trabajaba con facilidad para plantar, y contaba con un gran número de árboles para obtener leña.

Hacia el año 5000 a.C., las comunidades agrícolas se establecieron en muchas partes del mundo, incluidas las áreas conocidas hoy como Siria, Turquía, Líbano, Israel, Jordania, Grecia, y las islas de Creta y Chipre. Las sociedades agrícolas construyeron en estos lugares edificaciones de piedra, usaron la hoz para cosechar los cereales, desarrollaron un arado primitivo y mejoraron sus técnicas en el trabajo con metales. También

comenzó el comercio de piedras. Hacia el 4000 a.C., la agricultura se extendió desde estos centros hacia el Oeste al río Danubio en Europa central, hacia el Sur a las costas del Mediterráneo de África (incluido el río Nilo), y hacia el Este hasta el valle del Indo.

El desarrollo de la cuenca del Nilo aportó otros avances tecnológicos. En ese valle, el río se inunda al comienzo de la primavera. Tuvo que desarrollarse un sistema de irrigación y canales para regar los cultivos durante las estaciones de cosecha, cuando la lluvia es insuficiente. La propiedad de la tierra tenía que determinarse cada año mediante un sistema de medición, ya que los marcadores de la propiedad se perdían con frecuencia con las inundaciones. Los valles del Tigris y el Éufrates presentaban otros problemas tecnológicos. Las inundaciones se producían después de la estación de cosecha, por lo que era necesario aprender la técnica de construir diques y barreras para las inundaciones.

Otros descubrimientos primitivos

Para ayudar al transporte eficiente de minerales para la creciente industria del cobre se construyeron carros de dos ruedas (la rueda más antigua databa aproximadamente del año 3500 a.C. en Mesopotamia). Sin embargo, los medios de transporte más utilizados fueron los barcos de juncos y las balsas de madera, que surgieron primero en Mesopotamia y Egipto. Un resultado importante del mercado de la cerámica, los metales y las materias primas fue la creación de una marca o sello, que se usaba para identificar a los creadores o propietarios particulares.

La tecnología también comenzó a manifestar otro de sus efectos, una alteración mayor del entorno por la introducción de nuevas prácticas: por ejemplo, la demanda de leña condujo a la deforestación, y el pastoreo excesivo de ovejas y de ganado vacuno provocó que crecieran menos árboles nuevos en las tierras pobres de la región. Así, la doma de animales, la agricultura de monocultivo, la deforestación y las inundaciones periódicas llevaron a la aparición gradual de áreas desérticas.

El crecimiento de las ciudades también estimuló una necesidad mayor de escribir. Los egipcios mejoraron la tabla de arcilla, que era difícil de manejar, con la fabricación de un material similar al papel sobre el cual escribían con jeroglíficos. Este material se fabricaba utilizando la planta del papiro. Además, la ciudad provocó una nueva división del trabajo: el sistema de castas. Esta estructura proporcionaba seguridad, estatus social y ocio a la clase intelectual de los escribas, médicos, profesores, ingenieros, magos y adivinadores. Sin embargo, el ejército contaba con los mayores recursos.

El auge del ejército

La tecnología militar del mundo antiguo de desarrolló en tres fases inconexas. En la primera fase, surgió la infantería con sus cascos de piel o de cobre, arcos, lanzas, escudos y espadas. A esta fase le siguió el desarrollo de los carros, que al principio fueron vehículos pesados para el uso de los comandantes. La inclusión posterior de radios en las ruedas para aligerarlas, y un bocado y una brida para el caballo, hizo del carro una máquina de guerra ligera que podía aventajar a la infantería enemiga. La tercera fase se centró en el incremento de la movilidad y la velocidad de la caballería. Los asirios, con su conocimiento del armamento de hierro y sus espléndidos jinetes, dominaron la mayoría del mundo civilizado entre el 1200 y el 612 a.C.

Tecnología griega y romana

El Imperio persa de Ciro II el Grande fue derrotado y sucedido por el imperio creado por Alejandro Magno (véase Periodo helenístico). Los griegos fueron los primeros en convertirse en una potencia, a través de sus conocimientos en astilleros y comercio, y mediante su colonización de las costas del Mediterráneo. La derrota de los persas se debió en parte al poder naval griego.

Los persas y los griegos también introdujeron una nueva casta dentro de la división del trabajo: la esclavitud.

Durante la edad de oro griega, su civilización dependía de los esclavos en todo lo concerniente al trabajo manual. La mayoría de los sabios estaban de acuerdo en que en las sociedades donde se practicaba la esclavitud los problemas de la productividad se resolvían mediante el incremento del número de trabajadores, antes que por los métodos nuevos de producción o nuevas fuentes energéticas. Debido a esto, los conocimientos teóricos y la enseñanza en Grecia (y posteriormente en Roma) estuvieron muy alejados del trabajo físico y de la fabricación.

Esto no quiere decir que los griegos no desarrollaran nuevas ideas tecnológicas. Arquímedes, Herón de Alejandría, Ctesías y Tolomeo escribieron sobre los principios de sifones, poleas, palancas, manivelas, bombas contra incendios, ruedas dentadas, válvulas y turbinas. Algunas contribuciones prácticas importantes de los griegos fueron el reloj de agua de Ctesía, el dioptra (un instrumento de topografía) de Herón de Alejandría y el tornillo hidráulico de Arquímedes. Del mismo modo, Tales de Mileto mejoró la navegación al introducir métodos de triangulación y Anaximandro dio forma al primer mapa del mundo. No obstante, los avances tecnológicos de los griegos no fueron a la par con sus contribuciones al conocimiento teórico.

El Imperio romano que conquistó y sucedió al de los griegos fue similar en este aspecto. Los romanos, sin embargo, fueron grandes tecnólogos en cuanto a la organización y la construcción. Establecieron una civilización urbana que disfrutó del primer periodo largo de paz en la historia de la humanidad. El primer gran cambio que se produjo en este periodo fue en la ingeniería con la construcción de enormes sistemas de obras públicas. Con el uso de cemento resistente al agua y el principio del arco, los ingenieros romanos construyeron 70.800 km de carreteras a través de su vasto imperio. También construyeron numerosos circos, baños públicos y cientos de acueductos, alcantarillas y puentes; asimismo fueron responsables de la introducción del molino de agua y del posterior diseño de ruedas hidráulicas con empuje superior e inferior, que se usaron para moler grano, aserrar madera y cortar mármol. En el ámbito militar, los romanos avanzaron tecnológicamente con la mejora de armas, como la jabalina y la catapulta (*véase Artillería*).

La edad media

El periodo histórico transcurrido entre la caída de Roma y el renacimiento (aproximadamente del 400 al 1500) se conoce como edad media. En contra de la creencia popular, se produjeron grandes avances tecnológicos en este periodo. Además, las culturas bizantina e islámica que prosperaron en esta época, tuvieron una importante actividad en las áreas de la filosofía natural, el arte, la literatura, la religión, y en particular la cultura islámica aportó numerosas contribuciones científicas, que tendrían gran importancia en el renacimiento europeo. La sociedad medieval se adaptaba fácilmente, y estaba dispuesta a adquirir nuevas ideas y nuevos métodos de producción a partir de cualquier fuente, viniera de las culturas del islam y Bizancio, China, o de los lejanos vikingos.

La guerra y la agricultura

En el área de la guerra, se mejoró la caballería como arma militar, con la invención de la lanza y la silla de montar hacia el siglo IV; se desarrolló también la armadura más pesada, la cría de caballos más grandes y la construcción de castillos. La introducción de la ballesta, y más tarde de la técnica de la pólvora desde China, llevó a la fabricación de pistolas, cañones y morteros (a través del desarrollo de la cámara de explosión), reduciendo de este modo la efectividad de los escudos pesados y de las fortificaciones de piedra.

Una de las máquinas más importantes de la época medieval fue el molino, que no sólo incrementó la cantidad de grano molido y de madera aserrada, sino que también favoreció la formación de molineros expertos en manivelas compuestas, levas y otras técnicas de movimiento de máquinas y combinación de sus partes con otros dispositivos. La rueda de hilado, que se introdujo desde la India en el siglo XIII o XIV, mejoró la producción de hilo y la costura de la ropa y se convirtió en una máquina común en el hogar. El hogar, en sí mismo, también se transformó con la inclusión de una chimenea, que ahorraba la madera cada vez más escasa debido a la expansión agrícola. Hacia el año 1000, los excedentes agrícolas, debidos a varias mejoras en el

arado, llevaron a un incremento del comercio y al crecimiento de las ciudades. En éstas se desarrollaron las innovaciones arquitectónicas de muchos reinos, para culminar en grandiosas catedrales góticas de altos muros, posibles gracias a los arbotantes.

El transporte

Las innovaciones en el transporte durante la edad media ampliaron la difusión de la tecnología a través de grandes áreas. Algunos elementos como la herradura, el árbol de varas (para enjaezar de forma efectiva los caballos a los carros) y el coche de caballos aceleraron el transporte de personas y mercancías. Se produjeron también cambios importantes en la tecnología marina. El desarrollo de la quilla, la vela latina triangular para una mayor maniobrabilidad, y de la brújula magnética (en el siglo XIII) hicieron de los barcos veleros las máquinas más complejas de la época. El príncipe Enrique de Portugal creó una escuela para enseñar a los navegantes cómo usar correctamente estas máquinas. Quizás los estudiantes del príncipe Enrique hicieron más de lo que habían hecho las teorías astronómicas de Copérnico, al cambiar la percepción que tenía la humanidad del mundo.

Otros inventos importantes

Otros dos inventos medievales, el reloj y la imprenta, tuvieron gran influencia en todos los aspectos de la vida humana. La invención de un reloj con péndulo en 1286 hizo posible que la gente no siguiera viviendo en un mundo estructurado diariamente por el curso del Sol, y cada año por el cambio de estaciones. El reloj fue además una ayuda inmensa para la navegación, y la medida precisa del tiempo fue esencial para el desarrollo de la ciencia moderna.

La invención de la imprenta, a su vez, provocó una revolución social que no se ha detenido todavía. Los chinos habían desarrollado tanto el papel como la imprenta antes del siglo II d.C., pero esas innovaciones no alcanzaron demasiada expansión en el mundo occidental hasta mucho más tarde. El pionero de la imprenta, el alemán Johann Gutenberg, solucionó el problema del moldeo de tipos móviles en el año 1450. Una vez desarrollada, la imprenta se difundió rápidamente y comenzó a reemplazar a los textos manuscritos. De este modo, la vida intelectual no continuó siendo dominio de la Iglesia y el Estado, y la lectura y la escritura se convirtieron en necesidades de la existencia urbana.

La tecnología en la edad moderna

Al final de la edad media, los sistemas tecnológicos denominados ciudades hacía mucho que eran la característica principal de la vida occidental. En 1600, Londres y Amsterdam tenían poblaciones superiores a 100.000 habitantes, y París duplicaba esa cantidad. Además, los alemanes, los ingleses, los españoles y los franceses comenzaron a desarrollar imperios mundiales. A principios del siglo XVIII, los recursos de capital y los sistemas bancarios estaban lo suficientemente bien establecidos en Gran Bretaña como para iniciar la inversión en las técnicas de producción en serie que satisfarían algunas de esas aspiraciones de la clase media.

La Revolución Industrial

La Revolución Industrial comenzó en Inglaterra, porque este país tenía los medios técnicos precisos, un fuerte apoyo institucional y una red comercial amplia y variada. Los cambios económicos, incluida una mayor distribución de la riqueza y un aumento del poder de la clase media, la pérdida de importancia de la tierra como fuente fundamental de riqueza y poder, y los negocios oportunistas, contribuyeron a que la Revolución Industrial comenzara en Gran Bretaña. Las primeras fábricas aparecieron en 1740, concentrándose en la producción textil (*véase Sistema industrial*). En esa época, la mayoría de los ingleses usaban prendas de lana, pero en 100 años las prendas de lana ásperas se vieron desplazadas por el algodón, especialmente tras la invención de la desmotadora de algodón del estadounidense Eli Whitney en 1793. Algunas inventos británicos, como la cardadora y las máquinas de lanzadera volante de John Kay, la máquina de hilar algodón

de James Hargreaves y las mejoras en los telares realizadas por Samuel Cromptom fueron integrados con una nueva fuente de potencia: la máquina de vapor, desarrollada en Gran Bretaña por Thomas Newcomen, James Watt y Richard Trevithick, y en Estados Unidos por Oliver Evans. En un periodo de 35 años, desde la década de 1790 hasta la de 1830, se pusieron en marcha en las islas Británicas más de 100.000 telares mecánicos.

Una de las innovaciones más importantes en el proceso de telares fue introducida en Francia en 1801 por Joseph Jacquard. Su telar usaba tarjetas con perforaciones para determinar la ubicación del hilo en la urdimbre. El uso de las tarjetas perforadas inspiró al matemático Charles Babbage para intentar diseñar una máquina calculadora basada en el mismo principio. A pesar de que la máquina no se convirtió nunca en realidad, presagiaba la gran revolución de las computadoras de la última parte del siglo XX.

Nuevas prácticas laborales

La Revolución Industrial condujo a un nuevo modelo de división del trabajo, creando la fábrica moderna, una red tecnológica cuyos trabajadores no necesitan ser artesanos y no tienen que poseer conocimientos específicos. Por ello, la fábrica introdujo un proceso de remuneración impersonal basado en un sistema de salarios. Como resultado de los riesgos financieros asumidos por los sistemas económicos que acompañaban a los desarrollos industriales, la fábrica condujo también a los trabajadores a la amenaza constante del despido.

El sistema de fábricas triunfó después de una gran resistencia por parte de los gremios ingleses y de los artesanos, que veían con claridad la amenaza sobre sus ingresos y forma de vida. En la fabricación de mosqueteros, por ejemplo, los armeros lucharon contra el uso de partes intercambiables y la producción en serie de rifles. Sin embargo, el sistema de fábricas se convirtió en una institución básica de la tecnología moderna, y el trabajo de hombres, mujeres y niños se convirtió en otra mera mercancía dentro del proceso productivo. El montaje final de un producto (ya sea una segadora mecánica o una máquina de coser) no es el trabajo de una persona, sino el resultado de un sistema integrado y colectivo. Esta división del trabajo en operaciones, que cada vez se especificaba más, llegó a ser la característica determinante del trabajo en la nueva sociedad industrial, con todas las horas de tedio que esto supone.

Aceleración de las innovaciones

Al aumentar la productividad agrícola y desarrollarse la ciencia médica, la sociedad occidental llegó a tener gran fe en lo positivo del cambio tecnológico, a pesar de sus aspectos menos agradables. Algunas realizaciones de ingeniería como la construcción del canal de Suez, el canal de Panamá y la torre Eiffel (1889) produjeron orgullo y, en gran medida, asombro. El telégrafo y el ferrocarril interconectaron la mayoría de las grandes ciudades. A finales del siglo XIX, la bombilla (foco) inventada por Thomas Alva Edison comenzó a reemplazar a las velas y las lámparas. En treinta años todas las naciones industrializadas generaban potencia eléctrica para el alumbrado y otros sistemas.

Algunos inventos del siglo XIX y XX, como el teléfono, la radio, el automóvil con motor y el aeroplano sirvieron no sólo para mejorar la vida, sino también para aumentar el respeto universal que la sociedad en general sentía por la tecnología. Con el desarrollo de la producción en serie con cadenas de montaje para los automóviles y para aparatos domésticos, y la invención aparentemente ilimitada de más máquinas para todo tipo de tareas, la aceptación de las innovaciones por parte de los países más avanzados, sobre todo en Estados Unidos, se convirtió no sólo en un hecho de la vida diaria, sino en un modo de vida en sí mismo. Las sociedades industriales se transformaron con rapidez gracias al incremento de la movilidad, la comunicación rápida y a una avalancha de información disponible en los medios de comunicación.

La I Guerra Mundial y la Gran Depresión forzaron un reajuste de esta rápida explosión tecnológica. El desarrollo de los submarinos, armas, acorazados y armamento químico hizo ver más claramente la cara destructiva del cambio tecnológico. Además, la tasa de desempleados en todo el mundo y los desastres provocados por las instituciones capitalistas en la década de 1930 suscitaron en algunos sectores la crítica más

enérgica sobre los beneficios que resultaban del progreso tecnológico.

Con la II Guerra Mundial llegó el desarrollo del arma que desde entonces constituye una amenaza general para la vida sobre el planeta: la bomba atómica. El gran programa para fabricar las primeras bombas atómicas durante la guerra, el Proyecto Manhattan, fue el esfuerzo tecnológico más grande y más caro de la historia hasta la fecha. Este programa abrió una época no sólo de armamento de destrucción en masa, sino también de ciencia de alto nivel, con proyectos tecnológicos a gran escala, que a menudo financiaban los gobiernos y se dirigían desde importantes laboratorios científicos. Una tecnología más pacífica surgida de la II Guerra Mundial (el desarrollo de las computadoras, transistores, electrónica y las tendencias hacia la miniaturización) tuvo un efecto mayor sobre la sociedad. Las enormes posibilidades que se ofrecían se fueron convirtiendo rápidamente en realidad; esto trajo consigo la sustitución de la mano de obra por sistemas automatizados y los cambios rápidos y radicales en los métodos y prácticas de trabajo.

Se comprende el término tecnología en su sentido más amplio. Es decir, que cubre todos los aspectos de la relación de los seres humanos con los objetos de su propia creación, lo artificial.

La tecnología es un modo de ver el fenómeno de la artificialidad, y de analizar "sistémicamente" los objetos tecnológicos desde su finalidad y no desde los fundamentos científicos en que se basa su funcionamiento.

Por su naturaleza, es necesario considerar que la tecnología es, en un sentido transdisciplinaria y en otro, un área disciplinar emergente, que se encuentra definiendo su perfil que la distinga de otras disciplinas.

El análisis basado en la teoría de los sistemas brinda una herramienta potente para hacer frente al estudio de productos tecnológicos y de las acciones involucradas en su producción.

Asimismo, las ciencias básicas ocupan una posición importante aunque subalterna e instrumental en la formación docente en Educación Tecnológica.

Tales contenidos se presentan en el bloque "Tecnología de los Medios", por lo cual se sugiere no separarlos de las tecnologías en las que se aplican.

En relación con los contenidos de matemática, los mismos deberán orientarse hacia los métodos numéricos y la estadística; los de física, hacia los estados condensados y los de química, hacia la ciencia de los materiales.

La "alfabetización tecnológica" implica la comprensión de la relación entre tecnología, ciencia cultura y valores de modo que genere en los futuros docentes una actitud consciente frente a la tecnología, para ser usuarios inteligentes y/o productores responsables. y posibilite ejercer como personas conscientes y ciudadanos responsables, un control efectivo que oriente el desarrollo tecnológico en beneficio y no en perjuicio de nuestra generación y las que nos sucedan.

Para ello, es necesario plantear las competencias que deberá adquirir el futuro docente:

- Competencias *teóricas y prácticas* que favorezcan la relación entre el saber y el hacer. En este sentido cobran importancia los Proyectos Tecnológicos que forman parte de los CBC de la EGB y de la Educación Polimodal.
- Competencias *pedagógico-didácticas* que garanticen la enseñanza y el aprendizaje de los contenidos de Tecnología a diversos grupos de alumnos, en instituciones específicas y variedad de contextos.

Estos bloques no deben ser pensados en forma aislada ni secuenciada, sino a través de conexiones e integraciones que aseguren al futuro y futura docente una visión orgánica y estructurada de los contenidos de tecnología con los didácticos que le corresponde estudiar.

Bloque 1: Introducción a la Tecnología.

Bloque 2: El mundo de lo artificial.

Bloque 3: Tecnologías de los medios.

Bloque 4: La enseñanza y el aprendizaje de la tecnología.

Bloque 5: Procedimientos generales relacionados con la tecnología y su enseñanza.

Bloque 6: Actitudes generales.

En la caracterización de cada bloque se detalla:

- Una síntesis explicativa de los contenidos a desarrollar.
- Una propuesta de alcance de los contenidos.
- Las expectativas de logro al finalizar la formación docente.

PROPUESTA DE DESARROLLO DE LOS CONTENIDOS BÁSICOS COMUNES DE FORMACIÓN DOCENTE EN TECNOLOGÍA

BLOQUE 1: INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA

Síntesis explicativa

Los contenidos que se presentan en este bloque abarcan aspectos filosóficos, antropológicos y socioculturales. Tienen el propósito de estimular en los alumnos y alumnas futuros docentes la reflexión acerca de la naturaleza de los objetos y de la acción tecnológica.

Un primer grupo de contenidos se refiere a **Naturaleza y artificialidad**. Ellos permitirán que los futuros docentes comprendan que la tecnología como disciplina no trata exclusivamente acerca de los objetos creados por el ingenio humano sino especialmente acerca de la relación de las personas con estos objetos. En efecto, los objetos materiales son sólo el sustrato material de las tecnologías. Es siempre el ser humano como creador y como usuario de los objetos y procesos tecnológicos, quien pone en juego saberes tecnológicos y un programa de acción para su uso.

Por lo tanto, se considera necesario que los futuros docentes aborden el conocimiento tecnológico como inseparable del conjunto de las actividades humanas. La tecnología ocupa una posición compleja, porque es un producto social que se desarrolla para manipular, transformar y controlar el mundo físico. Por eso, se encuentra en la interfase entre lo social y lo físico o natural.

Finalmente si bien la actividad y la actitud tecnológica han existido desde los albores de la civilización, la tecnología actual, al invadir prácticamente todas las actividades humanas cambia las relaciones entre lo natural y lo artificial. Es en este contexto que la formación de los futuros docentes de educación tecnológica deberá considerar el concepto de "desarrollo sustentable" y el análisis del impacto ambiental y ético de las intervenciones tecnológicas.

Los contenidos seleccionados en **Sociedad, tecnología e historia** se orientan a la comprensión de los tipos de interacción existentes entre las intervenciones tecnológicas y las sociedades a lo largo del tiempo desde distintos puntos de vista, tales como el determinismo histórico, las teorías que homologan el cambio

tecnológico a la evolución biológica, las perspectivas que la dotan de autonomía y aquellas que la suponen dependiente de la economía. Durante su formación, los alumnos y las alumnas, futuros docentes realizarán un examen crítico de la civilización tecnológica que incluirá un análisis de las motivaciones humanas existentes detrás de cada cambio tecnológico.

Se considera relevante profundizar el tratamiento de los aspectos éticos que todo acto tecnológico conlleva. Esto implica formar la capacidad de prever los resultados de las acciones que crean y utilizan tecnologías sobre los demás seres humanos y sobre el ambiente natural.

Bajo el título **conocimiento tecnológico** se propone abordar a la tecnología como una actitud y una manera especial de conocer el mundo. Se incluyen también contenidos que permiten abordar desde otras perspectivas las relaciones entre los objetos y sus creadores y usuarios.

Esta perspectiva es epistemológica. Se refiere a la naturaleza del conocimiento tecnológico y a sus diferencias con el conocimiento científico.

También se incluyen contenidos referidos al análisis de la relación entre tecnología y ciencia. Se trata de que los alumnos/as futuros/as docentes comprendan que en la actualidad la ciencia y la tecnología se apoyan mutuamente y también en otros campos; así como que en ocasiones la innovación tecnológica permite avances en las ciencias y viceversa. La relación entre la tecnología, la economía y el bienestar de los pueblos se incluye en este bloque como objeto de reflexión. Se trata de que los alumnos/as futuros/as docentes analicen la relación entre el progreso económico y el desarrollo en los países líderes y en aquellos que no lo son.

Naturaleza y Artificialidad

- El acto tecnológico en la interfase entre lo humano y lo natural. Carácter teleonómico de la acción tecnológica. Relación entre teleonomía y causalidad en la acción tecnológica.
- Relación entre tecnología y ética. Impacto de lo tecnológico sobre la sociedad y el medio ambiente.
- Naturaleza del Objeto Tecnológico. Relación entre objetos tecnológicos y objetos naturales. Creación de objetos y materiales inexistentes.
- Las tecnologías facilitadoras de procesos naturales (agricultura, ganadería) y las tecnologías que operan con conceptos ajenos al transcurrir "natural" de las cosas.

Sociedad, Tecnología e Historia

- Historia de la tecnología y rol de la tecnología en la Historia. Técnicas y Tecnología. Evolución del trabajo social a lo largo de la historia. Reemplazo paulatino de la fuerza muscular por animales y luego por máquinas. Evolución del trabajo humano de la ejecución al control. Fase actual: reemplazo de funciones intelectivas.
- Períodos históricos de la tecnología: herramientas, máquinas y sistemas tecnológicos. Crecimiento de la complejidad. Tecnologías prehistóricas. Interacción de las tecnologías y el concepto de *Sistema Tecnológico*.
- La antigüedad: los metales, el riego y la organización urbana. Edad Media: el agua, el viento y los textiles. El hierro, el carbón, y el vapor en la revolución industrial. La electrónica y los materiales sintéticos en la revolución tecnológica. El concepto de *Civilización Tecnológica*. Relación entre la estructura económica y los sistemas tecnológicos.

- Relación de las tecnologías actuales con la tecnología previa. Evolución de las tecnologías. Concepto de desarrollo y subdesarrollo económico y social.
- Evolución de las ideas y actitudes sociales ante la naturaleza, la sociedad y Dios, en relación con la evolución de las tecnologías.
- Actitudes culturales ante la tecnología y ante el trabajo. Tecnofobia y tecnodependencia en la cultura contemporánea. Papel del trabajo a lo largo de la historia y cambio de sus perspectivas en la *civilización tecnológica*. El avance tecnológico y el trabajo.
- Las necesidades humanas, los deseos y su satisfacción en la civilización tecnológica. Necesidades de supervivencia, de afecto, de reconocimiento, de autorrealización. La sociedad de consumo y sus límites.
- Teorías acerca de la influencia de la tecnología en la historia: Determinismo Tecnológico, teorías evolutivas, teoría de los Sistemas Tecnológicos, autonomía tecnológica. Actualidad de este debate, y diferencias según el nivel de desarrollo de las economías y de las sociedades.

El conocimiento Tecnológico

- La tecnología como objeto (el objeto tecnológico), como actividad (la acción tecnológica), como voluntad (teleconomía), y como forma de conocimiento. Conocimiento empírico, técnico, tecnológico y científico. *Know-how* y *Know-why*. Artesanos, técnicos y tecnólogos.
- Tecnología y Ciencia. La naturaleza del conocimiento tecnológico frente al conocimiento científico. Simbiosis y diferencias entre tecnología y ciencia.
- Papel de la ciencia en el desarrollo tecnológico. La interacción institucional entre tecnología y ciencia en la sociedad. El rol del Estado. Incubación tecnológica.
- La innovación tecnológica. Innovaciones mayores y menores. Inventos y Desarrollos. Papel de la innovación en el desarrollo tecnológico. Desarrollo y crecimiento económico y tecnológico.
- Tecnología propia y ajena. Autonomía tecnológica. Transferencia de tecnología.
- Funciones sociales en relación con la tecnología. Usuarios y productores. Técnicos y tecnólogos. La *Alfabetización Tecnológica* y el "usuario inteligente". Funciones en la producción: Control, Calidad y Mantenimiento.

Al finalizar su formación, los futuros docentes de Educación Tecnológica:

- Reconocerán las características del conocimiento tecnológico, el carácter teleonómico de la acción tecnológica y las propuestas de los diferentes enfoques que se hacen sobre la tecnología, desde la filosofía y la antropología.
- Relacionarán los principales aspectos de la historia de la tecnología con su contexto social y cultural.
- Analizarán las relaciones existentes entre el conocimiento científico, el conocimiento tecnológico y la sociedad.

BLOQUE 2. EL MUNDO DE LO ARTIFICIAL

Síntesis explicativa

Estos contenidos favorecerán en los alumnos futuros docentes la adquisición de herramientas para el estudio de sistemas complejos. Esto implica la formulación de estructuras jerárquicas a partir de la identificación de funciones y del análisis del comportamiento de estos sistemas..

En **El "enfoque sistémico"** se brinda un marco para comprender la complejidad característica de los sistemas tecnológicos. Esto permitirá a los futuros docentes analizar los objetos y procesos tecnológicos para promover luego desarrollos curriculares y procesos eficaces de enseñanza en las escuelas. Estos sistemas se trabajarán a partir de los aspectos comunes a todos ellos: los insumos generales (materia, energía e información) las operaciones (ingreso o generación, regulación, transformación, almacenamiento, transporte o destrucción) y los productos (definidos en función de un propósito específico).

También se incluyen contenidos vinculados con las representaciones de la estructura y las relaciones funcionales entre los elementos de un sistema: diagramas, gráficos, esbozos y dibujos, cuya elaboración y uso por parte de los alumnos/as resulta necesario para llevar adelante estrategias que faciliten la comprensión, la comunicación y la resolución de problemas.

Las estrategias de abordaje de problemas y formulación de modelos tecnológicos se presentan en sus tres modos básicos: análisis, síntesis y "caja negra". En este sentido, se destaca la formulación de modelos de sistemas como una de las competencias básicas a las que se orienta la educación tecnológica, en tanto permite mejorar el uso de la tecnología y actuar eficazmente frente a fallas de los objetos o sistemas.

En **Análisis Tecnológico y Productos Tecnológicos** se presentan los contenidos específicamente referidos al análisis de objetos y procesos tecnológicos, desde los artefactos hasta las organizaciones. El profesor en Educación Tecnológica tendrá conocimientos generales descriptivos de los grupos de tecnologías más significativas empleadas en la solución de los problemas más generales de la civilización tecnológica, así como cierto conocimiento de las empresas productivas de su región.

Estos contenidos permitirán a los futuros docentes enseñar en profundidad el funcionamiento real de los objetos analizados. Para esto se utilizarán encuadres centrados en la *funcionalidad* descendente (o "*top-down*") y ascendente (o "*bottom-up*"). Estos dos métodos complementarios combinan estrategias propias del diseño (funcionalidad descendente) con las de la ingeniería inversa (funcionalidad ascendente) son necesarios en la resolución de problemas en el desarrollo de proyectos tecnológicos. Asimismo, se han incluido las perspectivas del *productor* y la del *usuario*, en tanto enfoques complementarios que abarcan las necesidades de la producción, por un lado, y las de las prestaciones y el mantenimiento, por el otro. Esto permitirá a los futuros docentes abordar cuestiones referidas a la viabilidad en los Proyectos Tecnológicos que se lleven adelante en las instituciones educativas.

El enfoque sistémico

- Conceptos generales de la teoría general de los sistemas. Tipos de sistemas: activos o teleonómicos, naturales y artificiales; sistemas formales.
- Definiciones y usos de los términos usados en el análisis sistémico. Análisis, síntesis y modelado de sistemas. La "caja negra" como concepto estructural y como modelo. Estructura y comportamiento.
- Aplicación a varios ejemplos de sistema; Materia, Energía e Información. Producción, Almacenamiento y Transporte. Redes conceptuales y redes físicas; Flujos y diagramas de flujo.
- Comportamiento de un sistema Estado. Variables de estado. Conceptos cibernéticos. Estabilidad e inestabilidad; entradas, salidas y realimentación en un sistema. Lazos de control. Oscilación, amortiguación, resonancia y tiempos característicos. Análisis de sistemas complejos en diferentes niveles jerárquicos de organización.

- Representación de objetos tecnológicos. Diagramas de diversos tipos: bloques, estado, de flujo, de entidades y relaciones, grafos, redes conceptuales, proyecciones, planos, modelos, maquetas y otros modos de representación de sistemas.

Análisis Tecnológico y Productos Tecnológicos

- Análisis del objeto tecnológico: análisis morfológico, y funcional; diagramas de funcionamiento, caja negra. Niveles y tecnologías de control: manual, mecánico, informático. Análisis tecnológico funcional o descendente ("top-down") y causal o ascendente ("bottom-up").
- Distintas categorías de objetos tecnológicos: herramientas, instrumentos, máquinas, vestimentas, contenedores, ductos, estructuras (edificios), redes (carreteras, redes telefónicas, etc.), organizaciones, procesos. Modos en que varias de estas categorías se combinan en estructuras más complejas. Los procesos tecnológicos como productos. Los servicios como productos tecnológicos.
- Las Tecnologías "blandas". Tecnologías de gestión. Límites y limitaciones de la distinción entre tecnologías "duras" y "blandas". Carácter simbiótico entre ambas categorías.
- Los productos sociales (libros, obras de arte, leyes, paisaje, etc.) como productos tecnológicos. Alcances y limitaciones de este enfoque.
- Análisis tecnológico desde la óptica de la producción. Morfología y fabricación. Concepto de tarea: insumo, agente, acción. Organización de la producción. Estructuración del tiempo y del espacio. Mantenimiento.
- Análisis de fallas de los objetos tecnológicos. El fracaso como fuente de progreso.

Al finalizar su formación:

- Conocerán y aplicarán los diversos problemas abordados por la tecnología, las estructuras y métodos básicos de representación y planificación de proyectos.
- Interpretarán estructuras de productos y procesos tecnológicos en el marco del enfoque sistémico, identificando bloques, componentes y sus relaciones mediante flujos de materia, energía o información, para recrearlas y/o transferirlas en campo de acción diferentes.
- Analizarán el comportamiento de productos y procesos tecnológicos mediante sistemas de representación convenientes.
- Diseñarán y seleccionarán estrategias apropiadas para que los alumnos/as interpreten, apliquen y transfieran funciones, estructuras y comportamientos tecnológicos.

BLOQUE 3. TECNOLOGÍAS DE LOS MEDIOS

Síntesis explicativa

En este bloque se proponen contenidos referidos a las técnicas básicas que constituyen medios para estructurar las tecnologías más complejas. Esto requerirá de los futuros docentes conocimientos de ciencias básicas y matemática. Se incluyen también contenidos vinculados con conocimientos científicos y técnicas cuyo dominio es indispensable para la realización práctica de los productos y procesos tecnológicos "reales".

Los contenidos vinculados con el **diseño** lo han considerado en su doble dimensión: como contenido procedural general y como estrategia didáctica para el tratamiento de contenidos de tecnología. El diseño

de objetos y procesos tendrá en cuenta los diferentes encuadres planteados en el bloque 2: la consideración de objetos materiales y procesos organizacionales, así como la perspectiva del productor y del usuario. Se propone también el estudio de los diversos tipos de modelos, el aprendizaje de elementos de dibujo técnico, y también el manejo de las herramientas informáticas para el dibujo técnico con el objeto de brindar a los futuros docentes herramientas específicas para la elaboración de planos, bocetos, gráficos, etc. Entre los aspectos del diseño de objetos materiales que no han de dejarse de lado, están los referentes al análisis de costos, las consideraciones ergonómicas, el uso de las tolerancias, y las normas industriales, así como la normalización en general.

Se abordan, además un conjunto de contenidos vinculados con temas de **mecánica, mecanismos, materiales y energía**. Comprenden las acciones tecnológicas orientadas al aprovechamiento y usos de la tecnología para la producción de bienes. Estos contenidos deben ser complementados con conocimientos de física y química. Se abordará el conocimiento de los materiales y de las transformaciones que sufren hasta convertirse en bienes: dispositivos y técnicas asociadas a la unión de partes, técnicas de transformación química de los materiales como químicas, mezclas, separaciones, etc. Los aprovechamientos de la energía se relacionan, por un lado, con las técnicas que permiten disponer de distintos tipos de energía, tales como la eléctrica y la química; por otro lado, con la energía mecánica, los tipos de motores que la generan y los mecanismos a través de los cuales se utilizan en las máquinas. Dado que el tratamiento de estos contenidos supone actividades de taller o laboratorio, se trabajarán integradamente con los contenidos procedimentales y actitudinales relacionados con las normas de seguridad e higiene.

Las **transformaciones de la materia** han sido consideradas como una temática clave en la enseñanza de la tecnología. Estos contenidos deben ser complementados con los conocimientos de física y química que resulten esenciales para lograr una comprensión adecuada de la mayoría de los objetos y procesos tecnológicos complejos. Asimismo, en esta selección de contenidos se favorece el establecimiento de conexiones con las prácticas de laboratorio en las que los futuros docentes adquirirán ciertas habilidades para minimizar los riesgos inherentes al manejo de los materiales específicos en ese ambiente, tomando las precauciones necesarias. En este sentido, se trabajarán aquí muy especialmente en forma integrada los contenidos procedimentales y actitudinales vinculados con la seguridad y la higiene.

En **electricidad y electrónica** se requerirá el trabajo realizado en cursos de física, en particular para algunos temas de electrónica, como el funcionamiento de los dispositivos que emplean diversas propiedades de los semiconductores. Cabe señalar que no se pretende que los Profesores en Educación Tecnológica sean expertos en circuitos complejos, ni que sepan diseñarlos, sino que conozcan las funciones electrónicas elementales (como rectificadores, amplificadores, filtros, convertidores, circuitos lógicos, etc.) y puedan armar circuitos de complejidad intermedia utilizando bloques funcionales.

La información constituye, junto con los materiales y la energía, uno de los tres ingredientes básicos de todo sistema tecnológico. El conjunto de estas tecnologías recibe el nombre de **informática**. Los contenidos que aquí se proponen consideran la informática en aspectos diferentes: como área tecnológica fundamental, como herramienta tecnológica y como recurso didáctico. Esto incluye, desde las tecnologías de gestión hasta el diseño gráfico, el control y la fabricación de productos; y en el proceso de desarrollo, desde el diseño hasta la evaluación estadística. Los futuros docentes en Educación Tecnológica sabrán servirse de los productos informáticos más comunes, por ejemplo sistemas de Diseño Asistido por Computadora (CAD) y poseerán nociones de programación para programar, por ejemplo, dispositivos controlados por computadora.

Los contenidos vinculados a la **instrumentación y control** se fundamentan en la fuerte tendencia de los sistemas tecnológicos hacia una automatización cada vez mayor. Esto torna los contenidos aquí seleccionados en uno de los aspectos más importantes en cualquier proceso productivo, presentes en muchos de los artefactos de uso habitual.

Los procesos ocupan un lugar relevante, sean ellos industriales, informáticos, de gestión o de otro tipo e

involucran insumos, equipos, esfuerzo humano, capital, y tiempo. Automatizados o mecánicos, continuos o discontinuos, concentrados en un mismo lugar o distantes entre sí, los diversos pasos involucran elementos de control que serán abordados en este bloque. Se procurará mostrar a los alumnos/as la diversidad de condiciones en que los distintos procesos se desarrollan: con plazos dictados por los ciclos biológicos, con secuencias de tareas administrativas encadenadas y correlacionadas, entre otras.

Las **tecnologías gestionales** también han nutrido esta selección de contenidos. Las estructuras internas, los métodos de gestión, las modalidades del ejercicio del poder, en diversas instituciones y organizaciones integran las denominadas *tecnologías gestionales*. Estas involucran temas de carácter económico, social, organizacional cultural, jurídico, administrativo y financiero.

Comprenden tanto el planeamiento y la distribución de tareas y la ponderación de recursos humanos y financieros como la ejecución y evaluación de cualquier trabajo social o proyecto. Esto permitirá a los futuros docentes concretar el desarrollo de Proyectos Tecnológicos.

Se trabajarán también la problemática de la gestión de la calidad, en particular en lo que hace al análisis y aplicación de normas internacionales que regulan el impacto ambiental, los productos que llegan al mercado de consumo y los procesos de diseño y producción.

Diseño

- El diseño como fase esencial de la creación de un objeto tecnológico. Relación entre el diseño conceptual y las representaciones. Aspectos comunes y diferencias entre el diseño de objetos materiales y procesos.
- Modelos: naturaleza de los modelos. Tipos de modelos: conceptuales, matemáticos, diagramas, planos, maquetas. Representación de sistemas y procesos: tablas de verdad, diagramas de flujo, metalenguajes algorítmicos, mapas de cañerías, diagramas de instrumentación.
- Normas de dibujo. Práctica de Dibujo técnico. Uso de herramientas informáticas (por ejemplo, CAD).
- Condicionamientos del diseño: elementos básicos de cálculo de costos; condicionamientos ergonómicos, estéticos y otros.

Mecánica, Mecanismos, Materiales y Energía

- La energía como insumo y como producto tecnológico. Formas y fuentes de energía. Transformaciones, almacenamiento y transporte de la energía. El caso especial de la energía eléctrica. Sus formas de generación, transformación y uso. Almacenamiento: las baterías y pilas eléctricas; tipos y uso.
- Movimientos lineales y circulares. Mecanismos. biela–manivelas, levas y otros mecanismos elementales.
- Motores, turbinas, transmisiones, elementos de control de máquinas.
- Materiales. Propiedades mecánicas, resistencia y elasticidad.
- Propiedades químicas pertinentes al uso previsto. Selección de materiales para fines determinados. Materiales compuestos.
- Conformación de artefactos. Transformaciones de los materiales. Transformaciones de forma, con y

sin arranque de material. Formado en frío y en caliente. Trabajo con diversos materiales. Uniones: clavos, remaches, bisagras, tornillos, ejes, etc.

- Montaje. Uso de herramientas comunes y máquinas–herramientas accesibles al ámbito educativo.
- Almacenaje y transporte de materiales en función de sus propiedades.
- Metrología. Instrumentos de medida. Errores de medición. Tolerancias y criterios para establecerlas. Estándares primarios y secundarios.
- El taller. Ergonomía y seguridad laboral.

Transformaciones de la Materia

- Características generales de las sustancias y de los procesos químicos.
- Transformaciones de los materiales: transformaciones químicas y procesos de transformación física, como cristalización, formación y separación de mezclas, destilación, molienda, y otras operaciones unitarias.
- Características especiales del manejo de materiales biológicos. Biotecnología.

Electricidad y Electrónica

- Conceptos elementales de electrotecnia. Corriente continua y alterna. Fases. Corrientes débiles e intensas.
- Componentes y circuitos elementales, pasivos y activos. Motores.
- Bloques funcionales. Realización electrónica de las funciones elementales: sintonía, amplificación, filtrado, rectificación, etc. Curvas características de un circuito electrónico. Circuitos integrados. Electrónica analógica y digital. Señales electrónicas. Ruido.
- Noción de mediciones eléctricas. Sistemas de unidades. Uso de los instrumentos más comunes. Osciloscopio.

Informática

- Naturaleza de la información. Diferentes formas de procesamiento. Transporte, almacenamiento, protección y difusión.
- Arquitectura básica y principios de funcionamiento de una computadora. Los parámetros característicos de una computadora y su significado. Uso de los equipos, periféricos y *software* de uso general: procesadores de texto, planillas de cálculo, bases de datos, diseño asistido por computadora (CAD).
- Medios gráficos. Multimedia. Redes de computadoras. Acceso y búsqueda en Internet. Noción elementales de programación e introducción a alguno de los lenguajes de programación de alto nivel. Algorítmica.
- Uso de los métodos informáticos como herramienta educativa. Software educativo. Análisis de su calidad de presentación y calidad pedagógica.

Instrumentación y Control

- Realimentación, lazos de control. Lógica y control distribuido. Sensores, transductores y actuadores; interfaces. Sensores eléctricos, mecánicos y químicos. Control electrónico, neumático, mecánico y electromecánico (relés). Controladores de uso general: CNC, PLC, etc.
- Sensibilidad de un sensor y tiempo característico de respuesta. Estabilidad de lazos realimentados. Respuesta amortiguada, amplificada y oscilante.

Los Procesos

- Procesos fabriles y no fabriles. Líneas principales de proceso y servicios auxiliares. Tiempos de residencia y etapas críticas. Localización y movimientos internos. Producción artesanal e industrial. Procesos discretos y continuos.
- Los procesos agrarios y sus características distintivas. Procesos químicos y agroindustriales.
- Diseño de procesos. Distribución espaciotemporal de las etapas. Adaptación de escalas. Control.

Las Tecnologías Gestionales

- Las organizaciones: tipos de organización, estructura y dinámica. Funciones sociales de las organizaciones: dirección, gerenciamiento, ejecución. Formas de relación entre ellas. Poder y conflicto. Culturas organizativas. Estilos de conducción.
- Las empresas: marco legal. Estructuras de las empresas: dirección, gerenciamiento, producción, Investigación y Desarrollo. El trabajo como factor productivo y como insumo. División del trabajo. Organización de las tareas. Tipos de producción. Producción artesanal e industrial. Procesos discretos y continuos. Sistemas modernos de organización y gestión de la producción y del trabajo. Uso de la tecnología informática.
- Gestión de la Calidad. Conceptos modernos de calidad. Normas internacionales ISO 9000 y 14000.
- Gestión de proyectos: métodos de programación y de control de tiempos y recursos. Método del Camino Crítico y PERT. Diagramas de Gantt.
- Diseñarán proyectos de mediana complejidad, utilizando criterios ergonómicos, respetando las normas existentes y utilizando herramientas informáticas.
- Utilizarán conocimientos de mecánica, de materiales y sus transformaciones, y de energía como insumo para la toma de decisiones en la formulación de proyectos tecnológicos y en análisis de procesos y productos.
- Analizarán funcionalmente sistemas eléctricos y electrónicos y diseñarán circuitos eléctricos y electrónicos sencillos.
- Identificarán estructuras de programación de distintas herramientas informáticas y utilizarán las de uso general así como las técnicas de acceso a la información en redes.
- Analizarán sistemas de control y sus dispositivos y diseñarán sistemas de control sencillo.
- Analizarán distintos tipos de procesos productivos desde el punto de vista de sus operaciones unitarias y su organización.

- Analizarán la estructura organizativa de distintas instituciones, propondrán mejoras en la eficiencia utilizando normas de gestión de la calidad y utilizarán las técnicas de control de proyectos.
- Conocerán y aplicarán a los diversos problemas abordados por la tecnología, las estructuras y métodos básicos que pueden requerirse en el desarrollo de un proyecto tecnológico.
- Contrastarán y desarrollarán alternativas de resolución diferentes a un problema tecnológico.
- Integrarán en el análisis de diferentes productos y procesos que requieran para su producción los conocimientos de mecánica, química, electricidad, electrónica e informática.

BLOQUE 4: LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE DE LA TECNOLOGÍA

Este bloque reúne los contenidos que se vinculan con diferentes propuestas y estrategias para la enseñanza de la tecnología.

La enseñanza de la tecnología en la EGB y el Polimodal constituye un hecho emergente en nuestro sistema educativo. Asimismo se ha considerado importante conocer el debate actual, desde la perspectiva de la enseñanza escolar, vinculado con la definición de este campo: la tecnología como disciplina, como campo interdisciplinario o transversal o como ciencia aplicada.

Las características de los alumnos y las alumnas del tercer ciclo de la EGB y la Educación Polimodal, y los modos específicos en que púberes y adolescentes acceden al conocimiento tecnológico, serán considerados como uno de los vértices de las propuestas didácticas específicas para la educación tecnológica. En tal sentido, se ha considerado que, frecuentemente, el conocimiento científico se construye a partir de la práctica vinculada a sus aplicaciones. Así, el abordaje deductivo (trabajando en primer lugar los contenidos teóricos o científicos para avanzar posteriormente en su aplicación tecnológica) no es necesariamente el mejor criterio de organización posible.

Los futuros docentes evaluarán las estrategias didácticas relacionadas con el aporte del conocimiento tecnológico al desarrollo de las temáticas transversales tales como: educación ambiental, educación para la salud y educación al consumidor. En este contexto, cobra especial significación el enfoque expresado en Ciencia, Tecnología y Sociedad.

Asimismo, se han seleccionado estrategias relevantes para la promoción de aprendizajes efectivos y la producción de desarrollos tecnológicos tales como: el proyecto tecnológico, la construcción de modelos, la recuperación de la evolución de productos o técnicas, así como las características de la intervención docente y las decisiones didácticas para abordar temáticas sociotécnicas.

Se propone la revisión de los antecedentes nacionales e internacionales considerando como aportes para la elaboración de una didáctica específica. Ejemplo de ello es la experiencia desarrollada en escuelas técnicas y en la relación aprendiz artesano.

- Los antecedentes de la enseñanza de la tecnología. La enseñanza de tecnologías fuera de la escuela: el aprendiz y el maestro. Las actividades prácticas. La enseñanza técnica. Proyectos nacionales e internacionales de enseñanza de tecnología. Modelos didácticos de la tecnología. Sus supuestos y fundamentos.
- Criterios para la selección, organización y secuenciación de contenidos de enseñanza de la tecnología. El debate actual acerca de la tecnología como disciplina, como área y como eje transversal. El enfoque sistémico y la selección y secuenciación de contenidos. Los modelos de aprendizaje del conocimiento tecnológico.

- La tecnología en las temáticas transversales: la educación ambiental , la educación para la salud y educación del consumidor. El enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad sus implicancias didácticas.
- Criterio para la selección y organización de actividades de tecnología. Proyecto tecnológico, análisis de productos y procesos, construcción de modelos (caja negra), búsquedas bibliográficas, investigaciones históricas, relevamiento de fuentes regionales de ejemplificación, creación de museos, reparaciones, etc. Evaluación de Proyectos tecnológicos.
- Analizarán las concepciones de tecnología, aprendizaje y enseñanza escolar que subyacen en los antecedentes y en las propuestas actuales de la enseñanza de la tecnología.
- Desarrollarán estrategias para el abordaje escolar del enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad.
- Desarrollarán estrategias de organización y secuenciación de contenidos en relación con la tecnología como disciplina y con sus aportes a temáticas transversales.

BLOQUE 5: PROCEDIMIENTOS GENERALES RELACIONADOS CON LA TECNOLOGÍA Y SU ENSEÑANZA

Síntesis explicativa

Este bloque reúne los procedimientos que se vinculan con el tratamiento de productos y procesos relacionados con el hacer tecnológico.

Propuesta de alcance de contenidos

Procedimientos vinculados con el conocimiento tecnológico

- Desarrollo de proyectos tecnológicos: estrategias para el diseño y la construcción de productos y procesos.
- Análisis de productos: abordaje de productos y procesos desde las distintas perspectivas planteadas en los CBC.
- Construcción de modelos o abordajes caja negra: modelizaciones funcionales de productos y procesos.
- Reconstrucción de la evolución de distintos procesos técnicos.

Procedimientos vinculados con la práctica de la enseñanza de la tecnología

- Observación y análisis de situaciones de enseñanza de tecnología.
- Elaboración y utilización de instrumentos para recabar información en situaciones de observación de clases.
- Diseño de situaciones de enseñanza de tecnología en las que se incluyan la definición de objetivos de aprendizaje, la selección y organización de contenidos de actividades y de material didáctico, y la elaboración de estrategias de evaluación de los aprendizajes.
- Conducción de situaciones de enseñanza de tecnología, que favorezcan el análisis y la comprensión del mundo artificial.

- Favorecer las manifestaciones de creatividad de los alumnos en el campo de diseño.
- Elaboración de instrumentos de evaluación de los contenidos y uso de los resultados para mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje.
- Dominarán los principales procedimientos vinculados el análisis de productos y procesos y al diseño y al desarrollo de proyectos tecnológicos.
- Planificarán, conducirán y evaluarán estrategias de enseñanza de contenidos de Tecnología respetando las características personales, grupales, sociales y culturales de alumnos y alumnas.

Bloque 6: Actitudes Relacionadas con la Tecnología y su Enseñanza

Síntesis explicativa

La enseñanza de la tecnología prioriza la formación de actitudes vinculadas con el rol de la tecnología en la vida humana, tanto en la actualidad como en diferentes etapas del desarrollo histórico.

En este bloque se describe un conjunto de contenidos actitudinales que en su conjunto contribuyen a la formación de la capacidad de discernimiento y de un pensamiento analítico, reflexivo y crítico que busca nuevas estrategias didácticas.

Actitudes relacionadas con el desarrollo personal

- Valoración y estimulación del pensamiento divergente en la resolución de problemas tecnológicos.
- Aceptación de las posibilidades cognitivas de los alumnos en la elaboración de conceptos y en el aprendizaje de procedimientos y actitudes.
- Reconocimiento y aceptación de la existencia de saberes previos en los alumnos, en referencia al conocimiento tecnológico.
- Disposición y apertura hacia los nuevos desarrollos didácticos.
- Reconocimiento y valoración de los distintos supuestos que inciden en la selección de estrategias de enseñanza.
- Valoración de la rigurosidad en el tratamiento de los contenidos de la enseñanza.
- Respeto frente al error y valoración del mismo en el proceso de aprendizaje.
- Compromiso ético con su profesión y con la necesidad de formación continua que ésta le demanda.
- Espíritu democrático en el sustento de la tarea docente.
- Disciplina racional, esfuerzo y constancia como integrantes necesarios del quehacer tecnológico y docente.
- Reflexión crítica y apertura para evaluar su actividad profesional en función del contexto.

Actitudes relacionadas con el nivel sociocomunitario

- Cooperación y toma de responsabilidades en su tarea diaria.
- Entusiasmo por generar en los alumnos/as actitudes positivas hacia la educación tecnológica.
- Compromiso con el aprendizaje de los alumnos/as y disposición a ayudar a que la tecnología sea para cada alumno/a una construcción personal relevante.
- Rechazo de estereotipos discriminatorios respecto del aprendizaje de la tecnología.
- Respeto hacia los diferentes ritmos de aprendizaje de los alumnos/as, y hacia las características personales, sociales y culturales de los mismos.

Actitudes relacionadas con el conocimiento científico

- Valoración de los principios científicos que sirven de base para el diseño y la implementación de estrategias didácticas y fundamentan su elección.
- Actitud crítica hacia las consecuencias éticas y sociales del desarrollo científico y tecnológico
- Disposición para la integración de los aspectos transversales de la tecnología con otras áreas del conocimiento.
- Reconocimiento de los aspectos positivos del uso de la informática y otras herramientas tecnológicas en el diseño de estrategias de enseñanza.
- Gusto por plantearse problemas y por la búsqueda de caminos para resolverlos.
- Responsabilidad respecto de la aplicación de las normas de seguridad e higiene del trabajo.

Actitudes relacionadas con la expresión y la comunicación

- Valoración de la necesidad e importancia del intercambio comunicativo en la sociedad actual.
- Actitud crítica y selectiva ante el caudal informativo recibido por diferentes medios y canales, valorando los criterios de selección.
- Valoración de la utilización de un vocabulario preciso y de las convenciones y el lenguaje técnico pertinente para la comprensión, la comunicación y la enseñanza de resultados científicos.
- Valoración de las posibilidades que brinda el lenguaje formal para modelizar procesos y sistemas del mundo natural.
- Actitud reflexiva y crítica frente a la información científica que divulgan los medios de comunicación y los textos escolares, distinguiendo ciencia de pseudociencia.
- Comunicación clara y precisa y aceptación de la crítica acerca de sus producciones como medios para mejorar el conocimiento científico y didáctico con la rigurosidad que éstos exigen.

CAPITULO III

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL DESARROLLO CIENTIFICO Y TECNOLOGICO

Ciencia y tecnología

Los significados de los términos ciencia y tecnología han variado significativamente de una generación a otra. Sin embargo, se encuentran más similitudes que diferencias entre ambos términos.

Tanto la ciencia como la tecnología implican un proceso intelectual, ambas se refieren a relaciones causales dentro del mundo material y emplean una metodología experimental que tiene como resultado demostraciones empíricas que pueden verificarse mediante repetición. La ciencia, al menos en teoría, está menos relacionada con el sentido práctico de sus resultados y se refiere más al desarrollo de leyes generales; pero la ciencia práctica y la tecnología están inextricablemente relacionadas entre sí. La interacción variable de las dos puede observarse en el desarrollo histórico de algunos sectores.

En realidad, el concepto de que la ciencia proporciona las ideas para las innovaciones tecnológicas, y que la investigación pura, por tanto, es fundamental para cualquier avance significativo de la civilización industrial tiene mucho de mito. La mayoría de los grandes cambios de la civilización industrial no tuvieron su origen en los laboratorios. Las herramientas y los procesos fundamentales en los campos de la mecánica, la química, la astronomía, la metalurgia y la hidráulica fueron desarrollados antes de que se descubrieran las leyes que los gobernaban. Por ejemplo, la máquina de vapor era de uso común antes de que la ciencia de la termodinámica dilucidara los principios físicos que sostenían sus operaciones. Sin embargo, algunas actividades tecnológicas modernas, como la astronáutica y la energía nuclear, dependen de la ciencia.

En los últimos años se ha desarrollado una distinción radical entre ciencia y tecnología. Con frecuencia los avances científicos soportan una fuerte oposición, pero en los últimos tiempos muchas personas han llegado a temer más a la tecnología que a la ciencia. Para estas personas, la ciencia puede percibirse como una fuente objetiva y serena de las leyes eternas de la naturaleza, mientras que estiman que las manifestaciones de la tecnología son algo fuera de control (véase los apartados de este artículo *Logros y beneficios tecnológicos*, y *Efectos de la tecnología*).

Logros y beneficios tecnológicos

Dejando a un lado los efectos negativos, la tecnología hizo que las personas ganaran el control sobre la naturaleza y construyeran una existencia civilizada. Gracias a ello, incrementaron la producción de bienes materiales y de servicios y redujeron la cantidad de trabajo necesario para fabricar una gran serie de cosas. En el mundo industrial avanzado, las máquinas realizan la mayoría del trabajo en la agricultura y en muchas industrias, y los trabajadores producen más bienes que hace un siglo con menos horas de trabajo. Una buena parte de la población de los países industrializados tiene un mejor nivel de vida (mejor alimentación, vestimenta, alojamiento y una variedad de aparatos para el uso doméstico y el ocio). En la actualidad, muchas personas viven más y de forma más sana como resultado de la tecnología.

En el siglo XX los logros tecnológicos fueron insuperables, con un ritmo de desarrollo mucho mayor que en períodos anteriores. La invención del automóvil, la radio, la televisión y teléfono revolucionó el modo de vida y de trabajo de muchos millones de personas. Las dos áreas de mayor avance han sido la tecnología médica, que ha proporcionado los medios para diagnosticar y vencer muchas enfermedades mortales, y la exploración del espacio (véase Astronáutica), donde se ha producido el logro tecnológico más espectacular del siglo: por primera vez los hombres consiguieron abandonar y regresar a la biosfera terrestre.

Efectos de la tecnología

Durante las últimas décadas, algunos observadores han comenzado a advertir sobre algunos resultados de la tecnología que también poseen aspectos destructivos y perjudiciales. De la década de 1970 a la de 1980, el número de estos resultados negativos ha aumentado y sus problemas han alcanzado difusión pública. Los observadores señalaron, entre otros peligros, que los tubos de escape de los automóviles estaban

contaminando la atmósfera, que los recursos mundiales se estaban usando por encima de sus posibilidades, que pesticidas como el DDT amenazaban la cadena alimenticia, y que los residuos minerales de una gran variedad de recursos industriales estaban contaminando las reservas de agua subterránea. En las últimas décadas, se argumenta que el medio ambiente ha sido tan dañado por los procesos tecnológicos que uno de los mayores desafíos de la sociedad moderna es la búsqueda de lugares para almacenar la gran cantidad de residuos que se producen. Véase Lluvia ácida; Contaminación atmosférica; Conservación; Ecología; Capa de ozono; Lluvia radiactiva. Los problemas originados por la tecnología son la consecuencia de la incapacidad de predecir o valorar sus posibles consecuencias negativas. Se seguirán sopesando las ventajas y las desventajas de la tecnología, mientras se aprovechan sus resultados.

Alternativas propuestas

El concepto denominado tecnología apropiada, conveniente o intermedia se acepta como alternativa a los problemas tecnológicos de las naciones industrializadas y, lo que es más importante, como solución al problema del desequilibrio social provocado por la transferencia de tecnologías avanzadas a países en vías de desarrollo. Se dice que el carácter arrollador de la tecnología moderna amenaza a ciertos valores, como la calidad de vida, la libertad de elección, el sentido humano de la medida y la igualdad de oportunidades ante la justicia y la creatividad individual. Los defensores de este punto de vista proponen un sistema de valores en el que las personas reconozcan que los recursos de la Tierra son limitados y que la vida humana debe reestructurarse alrededor del compromiso de controlar el crecimiento de la industria, el tamaño de las ciudades y el uso de la energía. La restauración y la renovación de los recursos naturales son los principales objetivos tecnológicos.

Además se ha argumentado que, como la sociedad moderna ya no vive en la época industrial del siglo XIX y principios del XX (y que la sociedad postindustrial es ya una realidad), las redes complejas posibles gracias a la electrónica avanzada harán obsoletas las instituciones de los gobiernos nacionalistas, las corporaciones multinacionales y las ciudades superpobladas.

La tecnología ha sido siempre un medio importante para crear entornos físicos y humanos nuevos. Sólo durante el siglo XX se hizo necesario preguntar si la tecnología destruiría total o parcialmente la civilización creada por el ser humano.

CAPITULO III

La Ciencia en el siglo XXI

Predecir es arriesgado. Generalmente uno se equivoca, y corre el peligro de que alguien se acuerde. Hacia 1960, un periódico publicó una serie de predicciones atribuidas a Arthur C. Clarke, que pueden considerarse una clara aplicación del principio del Progreso Indefinido:

1970 El hombre en la luna

1980 El hombre en los planetas

2000 Colonización de los planetas

2020 Viajes no tripulados a las estrellas

2070 Velocidad próxima a la de la luz

2080 Viajes tripulados a las estrellas

2100 Encuentros con extraterrestres

1970 Traducción automática

1980 Radio individual

2000 Inteligencia artificial

2020 Robots inteligentes

2080 Máquinas superiores al hombre

2100 Cerebro mundial

1970 Baterías potentes

1980 Fusión nuclear

2000 Energía sin hilos

2020 Control de la herencia, Bioingeniería

2080 Máquina universal

2100 Manipulación de estrellas

Muchas de estas predicciones no han sucedido, mientras otras más lejanas se han adelantado. Es obvio que las del siglo XXI van a resultar demasiado optimistas.

Pero esto no significa que nos estemos aproximando al "fin de la Ciencia", como suponen algunos libros y artículos recientes, notablemente el de John Horgan del mismo título, que sugieren que la Ciencia está llegando a sus límites teóricos. Según ellos, en lugar de avances importantes, el futuro sólo nos traería soluciones a cuestiones de detalle, o lo que Horgan llama "ciencia irónica" (teorías que no se pueden comprobar).

La idea no es nueva. A finales del siglo XIX se publicaron opiniones parecidas: "La Física ha alcanzado sus límites. Ya se ha descubierto todo lo que podría descubrirse. Ya tenemos teorías estables. Sólo tenemos que resolver o explicar algunos detalles finos, como la radiación del cuerpo negro o el resultado negativo del experimento de Michelson–Morley".

Ya sabemos lo que pasó con esos "detalles": en cinco años (1900–1905), la radiación del cuerpo negro dio lugar a la Física Cuántica y el experimento de Michelson relegó la Mecánica de Newton al nivel de aproximación. La Física comenzó otro siglo de descubrimientos espectaculares.

No creo que la Ciencia haya llegado a sus límites, y dudo que alguna vez se puedan alcanzar. Pero nuestra civilización podría haber creado sus propios límites científicos, que quizás no sean intrínsecos, sino prácticos. No sería la primera vez. El desarrollo científico grecorromano se detuvo cuando los científicos se atascaron en callejones sin salida y dedicaron siglos a intentos infructuosos, como la cuadratura del círculo. Nada impide

que nosotros caigamos en trampas parecidas. Probablemente hemos caído ya en alguna de ellas.

Uno de los principios del método científico es la preponderancia del experimento sobre la teoría. Cuando las predicciones de una teoría y los resultados de la experimentación están en desacuerdo, el experimento debe tener la precedencia, y la teoría debería ser sustituida por otra que explique los resultados obtenidos. La percepción humana es el factor clave: el resultado anómalo del experimento de Michelson fue que no se percibieron figuras de interferencia donde la teoría decía que debían aparecer.

Algunos científicos opinan que la Física actual arrastra un fallo fundamental en el tratamiento del tiempo. Desde la época de Newton, las teorías físicas se han aferrado al carácter reversible del tiempo. La única ley física irreversible (el segundo principio de la Termodinámica) aparece como una rareza, una excepción, un incordio del que cuanto menos se hable, mejor.

Sin embargo, nuestra percepción del tiempo es esencialmente irreversible. Pero los físicos aducen a menudo que se trata de una ilusión, algo que no se debe tener en cuenta, de lo que no debemos fiarnos.

En Biología humana ha surgido una situación similar. Percibimos claramente la existencia del libre albedrío, pero las teorías deterministas dominantes consideran nuestra percepción como una ilusión más, pues no está de acuerdo con la teoría.

Dado que todas las teorías se basan en percepciones ¿cómo decidiremos cuáles son ilusiones y cuáles no? ¿Las que están de acuerdo con las teorías están bien, las que se oponen no? Pero entonces adoptaríamos la postura anticientífica de dar a las teorías predominio sobre los experimentos. ¿Y si los físicos del siglo XIX hubiesen decidido que la incapacidad de ver figuras de interferencia en el experimento de Michelson era una ilusión?

La ciencia actual puede haberse metido en estos u otros callejones sin salida, lo que podría poner punto final a sus avances. Dentro de dos mil años, los científicos de otra civilización podrán reírse de nosotros por nuestra incapacidad para aceptar la irreversibilidad del tiempo o el libre albedrío, como algunos se burlan de Platón por creer que "lo semejante busca a su semejante", o de los matemáticos que trataron de cuadrar el círculo. Puede que estemos ya atascados en otros callejones sin salida que ni siquiera podemos imaginar.

Avances recientes

El rápido desarrollo de los semiconductores para la industria electrónica, que comenzó a principios de la década de 1960, dio el primer gran impulso a la ciencia. Después de descubrir que se podía conseguir que materiales no metálicos como el silicio condujeran la electricidad de un modo imposible en los metales, científicos e ingenieros diseñaron métodos para fabricar miles de minúsculos circuitos integrados en un pequeño chip de silicio. Esto hizo posible la miniaturización de los componentes de aparatos electrónicos como los ordenadores o computadoras.

Si se consigue encontrar nuevos materiales que sean superconductores a temperaturas suficientemente altas, serán posibles nuevas aplicaciones, como trenes de levitación magnética o computadoras ultrarrápidas.

Aunque los últimos avances de la ciencia se han centrado sobre todo en las propiedades eléctricas, las propiedades mecánicas siguen teniendo una gran importancia. En la industria aeronáutica, por ejemplo, los científicos han desarrollado y los ingenieros han probado materiales compuestos no metálicos, más ligeros, resistentes y fáciles de fabricar que las aleaciones de aluminio y los demás metales actualmente empleados para los fuselajes de los aviones.

Perspectivas

A lo largo del siglo XX la tecnología se extendió desde Europa y Estados Unidos a otras naciones importantes como Japón y la antigua Unión Soviética, pero en ningún caso lo hizo a todos los países del mundo. Muchos de los países de los denominados en vías de desarrollo no han experimentado nunca el sistema de fábricas ni otras instituciones de la industrialización, y muchos millones de personas sólo disponen de la tecnología más básica. La introducción de la tecnología occidental ha llevado a menudo a una dependencia demasiado grande de los productos occidentales. Para la población de los países en vías de desarrollo que depende de la agricultura de subsistencia tiene poca relevancia este tipo de tecnologías. En los últimos años, grupos de ayuda occidentales han intentado desarrollar tecnologías apropiadas, usando las técnicas y materiales de los pueblos indígenas.

La tecnología de vacío es muy importante en la investigación científica y tecnológica. Los aceleradores de partículas dependen de vacíos muy altos para proporcionar a las partículas una trayectoria relativamente libre de gases. Para probar equipos aeroespaciales en condiciones que simulen las del espacio se emplean grandes cámaras de vacío, a veces de miles de metros cúbicos, lo que exige una gran velocidad de bombeo para la extracción de gas. En algunos tipos de análisis químico, en los que el material que se quiere analizar debe hallarse en estado gaseoso o en forma de iones eléctricamente cargados, es necesario un vacío para alcanzar estas condiciones. Algunos de los instrumentos empleados para estos análisis son el espectrómetro de masas, el microscopio electrónico o los analizadores de fusión en vacío y de resonancia magnética nuclear. Constantemente se descubren nuevas aplicaciones de la tecnología de vacío.