

SOCIEDAD CUBANA DE HISTORIA DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA  
Y MUSEO NACIONAL DE HISTORIA DE LAS CIENCIAS

## **Principales Descubrimientos e Invenciones en el Siglo XX**

Documento elaborado en saludo al Tercer Milenio

Compilado, redactado y compuesto por el Dr. Pedro M. Pruna Goodgall,  
Investigador Titular del Museo Nacional de Historia de las Ciencias de la  
Academia de Ciencias de Cuba



Calendario azteca

La Habana, 2000  
[revisado en marzo, 2006]

## **Contenido**

Introducción	---	3
1 La Aviación (1903- )	---	4
2 La Teoría de la Relatividad (1905- )	---	7
3 La Televisión (1933- )	---	9
4 Avances de la Investigación Biomédica (1939- )	---	11
5 La Energía Nuclear (1942- )	---	15
6 La Computación y la Microelectrónica (1946- )	---	19
7 El Láser (1953- )	---	22
8 La Genética Molecular y la Ingeniería Genética (1953- )	---	25
9 Tecnología y Exploración Cósmicas (1957- )	---	29
10 Ecología y Biodiversidad (1962- )	---	33
11 Los Descubrimientos Arqueológicos	---	37
12 Bibliografía	---	41

## INTRODUCCIÓN

En la Noche Vieja (vísperas de Año Nuevo) de 1999, muchas personas en todo el mundo esperaron el advenimiento de un nuevo siglo y del Tercer Milenio. Pero, en realidad, ambos sucesos tuvieron lugar un año más tarde, el 1° de enero del año 2001. Si hay que culpar a alguien por tal frustración sería al monje Dionisio el Exiguo, quien allá por el 525 calculó que el nacimiento de Cristo ocurrió en un año que designó como el 1 (no el 0) de la Era Cristiana (que a veces denominamos “nuestra era”). No podía denominarlo año 0 porque utilizaba el sistema romano de numeración, que no tiene 0. El uso del A.C. (antes del nacimiento Cristo) y el D.C. (después del nacimiento de Cristo) se fue extendiendo durante la Edad Media y fue adoptado oficialmente por la cancillería papal en el siglo XV. El año 1, ya tradicionalmente aceptado como el del nacimiento de Cristo (aunque se cree que en realidad nació al menos 4 años antes), se mantuvo en el calendario gregoriano,<sup>1</sup> el de más extendido uso en la actualidad. En este calendario, se salta del año 1 A.C. al 1 D.C., sin un año 0 en medio. Por lo tanto, los siglos en el calendario gregoriano comienzan en los años 1, 101, 201, ... 2001.

Haber conmemorado el inicio del Tercer Milenio un año antes puede que no parezca tan grave si se sabe que, en algunos lugares, se celebrará bien lejos de esta fecha. Los países árabes, por ejemplo, siguen un calendario lunar, que comienza su cuenta en el año 622 de nuestro calendario (cuando Mahoma huyó de la Meca a Medina: la Hégira). El 1° de enero del año 2001, los países islámicos se hallaban en el año 1421, de acuerdo con su calendario. Por otra parte, el calendario lunisolar hebreo comienza su cuenta en el año 3761 A.C. (según nuestro calendario), y el 1 de enero del 2001 los israelíes se hallaban en el año 5761 de su calendario oficial. ¡Habrán saludado el Tercer Milenio 3761 años antes!<sup>2</sup>

Millones de personas pasaron por alto estos entuertos calendáricos porque, después de todo, un año con tres ceros es algo que vale la pena conmemorar.<sup>3</sup> En este espíritu es que se presenta este documento. Los campos de la ciencia y la tecnología seleccionados han tenido, tienen y probablemente tendrán en el futuro cercano una influencia destacada sobre la cultura mundial, la historia o la vida cotidiana. Se sigue -como norma- un orden cronológico de exposición, aunque a veces resulta difícil establecer el año preciso en que determinada innovación tecnológica tuvo lugar. Las tecnologías modernas son como grandes rompecabezas: tienen tantos pedazos, que tal precisión es más bien convencional, cuando no arbitraria.

<sup>1</sup> Así se denomina en honor al papa Gregorio XIII, quien lo implantó en 1582 (ordenó quitarle 10 días a ese año). Varios países no-católicos de Europa aceptaron el cambio mucho más tarde (Inglaterra en 1752, Rusia en 1918 y Grecia en 1924, entre otros).

<sup>2</sup> Los años en el calendario musulmán son de 354 o 355 días; en el hebreo, tienen de 353 a 355, y de 383 a 385 días. Desde luego que la fecha de inicio del calendario hebreo es totalmente mítica.

<sup>3</sup> Además, el 2000 fue bisiesto y, desde el 1600, no había un año bisiesto terminado en dos ceros.

## La Aviación

El término *aviación* se aplica modernamente a la teoría y la práctica del vuelo de aparatos más pesados que el aire, por lo que no incluye los ascensos en aerostatos (globos y dirigibles), que se basan en el uso de aire caliente o de gases más ligeros que el aire. En este artículo, el término se restringe a aparatos autopropulsados.

La aviación tiene sus antecedentes en toda una serie de aparatos que carecían de propulsión propia. El primer objeto volador más pesado que el aire fue el papalote, inventado antes de nuestra era, no se sabe con certeza dónde (algunos autores consideran que se originó en China).

El pintor, escultor, inventor y humanista italiano Leonardo da Vinci (1452-1519) inventó una hélice y un paracaídas, y concibió un aparato que, para volar, imitaba el movimiento de las aves (lo llamó "ornitóptero"), y otro remotamente parecido al actual helicóptero. Estos dos últimos aparatos no pasaron de la etapa de esquemas, que se divulgaron a partir de manuscritos de da Vinci, publicados en el siglo XX.

El "ornitóptero" (fragmento de un manuscrito de Leonardo da Vinci)



Los avances en el desarrollo de aparatos voladores se dirigieron durante el siglo XIX hacia el diseño de planeadores. Quizás el inventor más conocido en este campo sea el alemán Otto Lilienthal (1848-1896), quien demostró las ventajas de las alas de superficie curva y construyó diferentes aparatos, uno de los cuales cayó a tierra, provocando la muerte del audaz aeronauta.

Otros inventores se percataron de la necesidad de buscar motores capaces de propulsar los aparatos que diseñaban. En 1891, el anglo-australiano Lawrence Hargrave utilizó un motor de aire comprimido para volar 95 metros en su aparato; y en 1896 el astrónomo estadounidense Samuel P. Langley logró que un aparato inventado por él, y movido por una máquina de vapor, volara una distancia de 1200 metros durante casi un minuto y medio, antes de precipitarse a tierra (sus aparatos no estaban tripulados). El control del vuelo en los aparatos de Hargrave y Langley no era satisfactorio.

Inspirados por los vuelos de Otto Lilienthal, y por su trágica muerte, los hermanos Orville (1871-1948) y Wilbur Wright (1867-1912) comenzaron a realizar experimentos sobre control del vuelo de papalotes con forma de planeadores, diseñados por ellos. Descubrieron que variando el ángulo de las alas se podía lograr mejor control (anticipando así la idea de los *alerones*). En 1900, construyeron un gigantesco papalote pilotado, para probar su maniobrabilidad y, con posterioridad, un planeador que sometieron a prueba en un túnel de viento, que ellos mismos diseñaron y construyeron. Este planeador se fue perfeccionando hasta lograr, en

1902, un modelo que consideraron adecuado. Como no hallaron un motor que los satisficiera, construyeron uno, de 12 caballos de fuerza (8,9 kw), para propulsarlo.



El aparato de los hermanos Wright fue sometido a prueba el 17 de diciembre de 1903. Su primer vuelo ese día fue de 12 segundos. Aterrizó sin dificultades. Los Wright siguieron mejorando su aparato (el *aeroplano*) y le añadieron un motor más potente. En 1908 realizaron las primeras exhibiciones públicas (en una de ellas, el vuelo duró una hora), vendieron un aparato al Departamento de Defensa de su país, y a fines de ese año llevaron uno de sus aviones a Francia.

De manera independiente de los hermanos Wright, el ingeniero brasileño Alberto Santos-Dumont (1873-1932), conocido por sus experimentos con dirigibles, desarrolló su aeroplano, que fue construido por la firma de automóviles Voisin, de París. El 12 de noviembre de 1906 realizó un vuelo exitoso de 220 metros en unos 21 segundos (el más largo que realizó este aparato), en Francia.

Durante los años que precedieron a la Primera Guerra Mundial (1914-1918), mejoró considerablemente el diseño de los aeroplanos y de sus motores. Los biplanos (aviones con dos alas paralelas, como el de los hermanos Wright) pasaron a tener el motor delante de las alas, en lugar de atrás, como los anteriores; se introdujeron motores radiales en forma de V, con enfriamiento por agua. Todavía eran raros los monoplanos, los biplanos predominaban absolutamente. Los grandes bombarderos utilizados durante la Guerra eran biplanos.

Después de la Guerra comenzaron a realizarse vuelos a grandes distancias y se inauguraron las primeras líneas comerciales regulares (para el transporte de correo y de pasajeros). La primera internacional fue entre Cayo Hueso y La Habana, en 1920. Los primeros vuelos transoceánicos con y sin escalas, sobre el Atlántico, se realizaron en 1922. El famoso vuelo de Lindbergh, de 1928, fue el primero realizado por un piloto solo sobre el océano.

El primer vuelo de un avión con *motor de turbinas* se realizó en 1910, por el científico francés Henri Marie Coanda, pero ante la falta de interés de posibles inversionistas en sus experimentos, los abandonó. Años después, el diseño de aviones con turbinas continuó en Inglaterra, Francia y Alemania.



El Concorde volaba a dos veces la velocidad del sonido.

El primer motor de *turbojet* para aviones fue construido por el inglés Frank Whittle en 1935. El primer avión *turbojet* fue construido por el ingeniero alemán Joachim Pabst von Ohain, en 1939. El primer vuelo comercial de un avión *jet* (británico) de pasajeros se realizó en 1952. El primer avión supersónico de pasajeros, el TU-144 soviético, no encontró aceptación, a diferencia del Concorde (anglofrancés), que realizó su primer vuelo comercial en 1976 y continuó volando hasta el año 2005. Los aviones supersónicos dejaron de utilizarse para transportar pasajeros después de un solo accidente fatal del Concorde. Las razones, sin embargo, fueron sobre todo de carácter económico (los vuelos no resultaban ya rentables).

Otros aparatos voladores autopropulsados más pesados que el aire incluyen los *autogiros* y *helicópteros*.



**Autogiro.** Avión sin alas, de despegue casi vertical, dotado de hélice y de rotor. El rotor, instalado en la parte superior del aparato, no está conectado con el motor (que mueve la hélice). El avance mismo del aparato (por la acción del motor y la hélice) hace que las paletas del rotor giren y, en determinado momento, provoca el despegue de la nave. El autogiro fue inventado por el ingeniero español **Juan de La Cierva** (1896-1936), a partir de 1922. En 1928, La Cierva y un pasajero cruzaron el canal de Inglaterra a Francia en un autogiro. El autogiro utiliza su rotor sólo para el despegue, maniobra con la hélice.

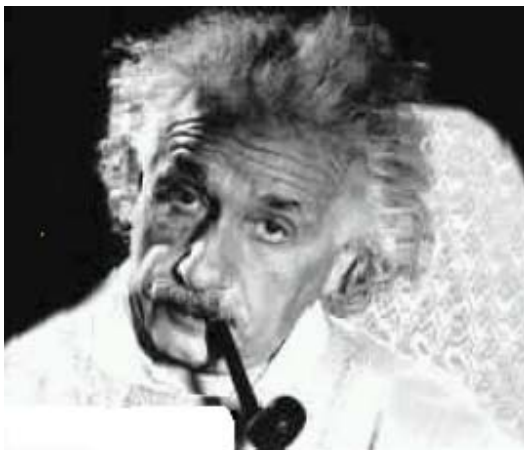


**Helicóptero.** En 1907, el francés Paul Cornu logró un breve despegue vertical con un aparato de su invención, pero poco maniobrable. El primer helicóptero funcional, el FA-61, fue diseñado y construido por el ingeniero alemán Heinrich Focke y voló exitosamente el 26 de junio de 1936. La labor más divulgada en torno a la invención del helicóptero es la del ingeniero ucraniano **Igor Ivánovich Sikorsky** (1889-1972), quien se dedicó originalmente al diseño de aviones (en 1913 diseñó, construyó y voló el primer avión de más de un motor). En 1919 se estableció en los Estados

Unidos. En 1930 retomó la idea del helicóptero y gradualmente diseñó y construyó un aparato con un rotor principal de paletas de posición variable y un rotor de cola, movidos por un motor de 75 caballos de fuerza, con el cual realizó un primer vuelo exitoso en 1939 (la versión final del aparato se construyó en 1941). En la foto aparece Igor Sikorsky pilotando su helicóptero en su primer vuelo exitoso (1939).

## La Teoría de la Relatividad

No hay casi ninguna idea fundamental importante en la física moderna cuyo origen no pueda rastrearse, al menos en parte, hasta Einstein. – Niels Bohr



Albert Einstein (1879-1955) se convirtió en la figura paradigmática de la ciencia durante el siglo XX, después de haberse difundido su teoría de la relatividad. Nacido en Alemania, de origen judío, vivió en Suiza, Italia, Checoslovaquia y Bélgica, antes de establecerse en los Estados Unidos. Además de sus contribuciones a la física, Einstein escribió sobre temas filosóficos, éticos y sociales. Era conocido por su decidida oposición a la guerra y a la discriminación. Le fue otorgado el premio Nobel de Física en 1921. Fue consultante de la Liga de las Naciones. Visitó La Habana, brevemente, en 1930.

**El acontecimiento teórico más importante del siglo XX es, probablemente, la formulación por Albert Einstein de su teoría de la relatividad. En realidad, bajo este nombre se agrupan dos teorías expuestas por él: la teoría especial de la relatividad (1905) y la teoría general de la relatividad (1916).**

En la mecánica clásica (cuyas leyes fundamentales fueron formuladas por el físico inglés Isaac Newton en 1687), el movimiento se define, en última instancia, en relación con un cuerpo en reposo; en *la teoría especial de la relatividad* cada cuerpo u objeto que se mueve *a velocidad constante* es su propio sistema de referencia y no se precisa que ningún cuerpo esté en reposo; en otras palabras no hay ningún sistema de referencia espacial único o absoluto para el movimiento, todo movimiento es relativo. Es importante añadir que, como cada objeto es su propio sistema de referencia, dentro de él se observan todas las leyes de la física, hasta el punto que, desde dentro de ese objeto, la velocidad constante y el reposo no se distinguen. Es similar a lo que sucede en un avión, por ejemplo. Si no hay variaciones en su velocidad, el pasajero no puede apreciar, basándose en lo que ocurre dentro del avión, si éste se halla en movimiento o en reposo. Aunque el avión viaje, digamos, a 1000 km por hora, el pasajero puede moverse y obrar dentro del avión como si éste se hallara en reposo.

El único término de referencia invariable que hay en el universo, establece Einstein, es la velocidad de la luz en el vacío (unos 300 000 km por segundo). Si para un observador interno no resulta posible saber si el avión se mueve o se halla en reposo, para un observador externo, sin embargo, cada objeto varía de acuerdo con la velocidad a que se mueve; si se mueve a la velocidad de la luz, se comporta como energía; a velocidades inferiores, los cuerpos, además de energía muestran masa (inerte). Luego, existe una correspondencia entre masa y energía, relacionada con la velocidad a que se mueven los objetos, y ella está dada por la famosa fórmula  $E=mc^2$ . Esta fórmula establece que la energía es igual a la masa de un objeto multiplicada por el cuadrado de la velocidad de la luz. Ello quiere decir que la energía cinética de un objeto se convierte en masa y que lo contrario también es cierto. Masa y energía

vienen a ser, pues, formas intercambiables de la existencia de la materia. La anterior fórmula resultó esencial para el estudio del átomo, y la transformación que predice de energía en masa fue confirmada al estudiarse el movimiento de los electrones.

Otro aspecto de la teoría especial es que echa abajo el concepto de la simultaneidad temporal. El tiempo deja de ser absoluto (al igual que el movimiento) y depende de la velocidad del objeto. Por lo tanto, un hecho que, para un observador, ocurre al mismo tiempo que otro hecho (es decir, simultáneamente), puede no ser simultáneo para otro observador. En cada objeto, o sistema de referencia, el tiempo transcurre de manera independiente de los demás objetos; pero todos los eventos o hechos del universo ocurren en un sistema general denominado *continuo espacio-tiempo*. Para Einstein, el universo es un continuo espacio-tiempo. La existencia del continuo espacio-tiempo permite que el sistema de referencia de cada objeto pueda ser “traducido” a los sistemas de referencia de los demás.

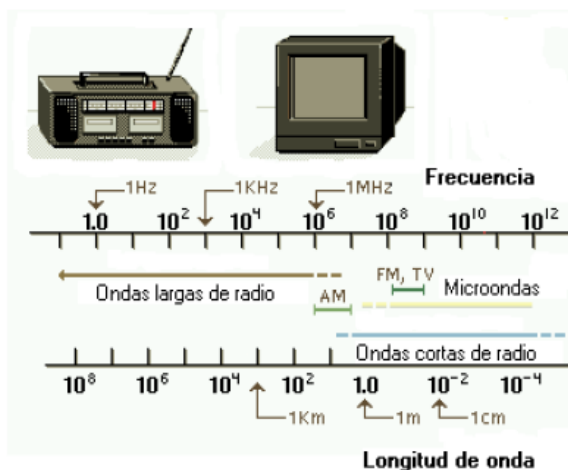
La *teoría general de la relatividad* se refiere no a objetos que se mueven a velocidad constante (examinados en la teoría especial), sino a los que se mueven con una aceleración uniforme. Einstein establece que no es posible distinguir un objeto que se mueve con aceleración uniforme de aquéllos sobre los cuales actúa la gravedad. La gravedad y la aceleración uniforme son equivalentes y no pueden ser experimentalmente distinguidas. No hay pues necesidad alguna de postular la existencia de una “fuerza de gravedad” que actúe a través del universo, de forma simultánea, sobre todos los objetos. La “gravedad” no es sino el movimiento uniformemente acelerado de los cuerpos. En la vecindad de objetos que se mueven a “baja” velocidad (y, por ende, tienen masa) los objetos con menor masa experimentan un movimiento uniformemente acelerado, al cual se denomina “gravedad”.

En la concepción de Einstein, la gravedad se debe a que los objetos masivos distorsionan el continuo espacio-tiempo, lo hacen curvarse sobre sí mismo. Debido a esta curvatura, en el universo la distancia más corta entre dos puntos no es recta, sino necesariamente curva. Las implicaciones teóricas y prácticas de la teoría de la relatividad son muy grandes. La teoría general de la relatividad ha influido enormemente sobre el estudio del universo (la cosmología) y la teoría especial se utiliza ampliamente en la física de las partículas elementales y en la física nuclear.

Las predicciones fundamentales de la relatividad especial y de la general han sido sometidas a comprobación en varias ocasiones y de diversas formas. En 1919 pudo observarse, durante un eclipse solar, la desviación de la luz de una estrella por la masa solar, con valores que no contradicen los postulados por la teoría general de la relatividad. En 1997, un haz de electrones acelerados hasta una velocidad próxima a la de la luz fue sometido a la acción de un láser de alta potencia, ello dio origen a pares positrón (electrón positivo)–electrón, es decir se generó masa a partir de energía, tal como lo predijera Einstein. En el propio año, astrónomos daneses pudieron observar la distorsión del espacio-tiempo provocada por la rotación de una estrella de neutrones. Hasta ahora, ninguna comprobación realizada contradice las predicciones de ambas teorías de la relatividad.



## La Televisión



Las ondas electromagnéticas van desde las más largas (las de radio) hasta las más cortas (los rayos gamma, que no aparecen en este esquema) a las cuales corresponden determinadas frecuencias, expresadas en Hertz (Hz) o MegaHertz (MHz). La TV utiliza frecuencias de entre 30 y 300 MHz (banda VHF) y la parte baja de la banda UHF (300-3000 MHz).

Como muchos otros inventos modernos, la televisión se basa en una serie de principios y fenómenos descubiertos en el curso de investigaciones básicas. Sin las investigaciones teóricas del electromagnetismo (de la luz, fundamentalmente), realizadas por el científico británico James Clerk Maxwell en el siglo XIX, no hubiera sido posible el descubrimiento de las ondas de radio por el físico alemán Heinrich Hertz, y por ende la transmisión de sonidos e imágenes a distancia. Hertz obtuvo, en sus experimentos, microondas, que son las que se utilizan para las transmisiones de televisión.

Otros descubrimientos básicos fueron la fotoconductividad y el efecto fotoeléctrico (1873). En este efecto (que fue estudiado teóricamente por *Albert Einstein* en 1905) se basan, en última instancia, tanto las cámaras de televisión, como los tubos-pantalla de los televisores. En esencia, el tubo-pantalla (inventado por el ruso *Boris L. Rosing* alrededor de 1908) deriva del “tubo de rayos catódicos” construido en 1897 por el alemán Carl Ferdinand Braun, que a su vez se inspira en el tubo al vacío donde el físico inglés *William Crookes* observó por vez primera los “rayos catódicos” (electrones, como hoy se sabe) en 1878. El tubo-pantalla de Rosing fue considerablemente modificado en los años treinta del siglo XX por el ingeniero estadounidense Allen B. DuMont.

En 1884, el alemán *Paul Nipkow* inventó un aparato de barrido de imágenes conocido hoy como “disco de Nipkow”. Tenía una serie de perforaciones que formaban una espiral, dispuesta de manera tal que cada agujero podía cubrir (barrer o *escanear*) una parte de una imagen plana (una fotografía, por ejemplo). Cada vuelta del disco barría la imagen completa en un quinceavo de segundo. Estos discos permitían descomponer la imagen en partes y recomponerla ulteriormente, lo que hacía posible la transmisión de 15 imágenes completas (o cuadros) cada segundo. Los primeros sistemas (experimentales) de televisión se basaban en este barrido mecánico de las imágenes y fueron creados, en Inglaterra y los Estados Unidos, por los inventores John L. Baird y Charles F. Jenkins, respectivamente, en los años veinte. Nipkow utilizó sensores de selenio activados por la luz para producir señales eléctricas, pero la corriente que emiten las sustancias fotoactivadas es muy débil, por lo que no podía ser transmitida de manera continua. Ello fue resuelto a partir de 1906 con la invención del *triodo*

por el ingeniero estadounidense *Lee De Forest* (1873-1961). Este amplificador de voltaje y de potencia (un tubo electrónico de tres electrodos, de ahí su nombre) fue utilizado ampliamente en la radio. Su ulterior perfeccionamiento permitió su utilización en la televisión y luego en las computadoras (hasta su sustitución por los transistores, en los años cincuenta).

El primer sistema totalmente electrónico de transmisión *continua* de imágenes, es decir, de televisión, fue creado en los años veinte por el inventor estadounidense Philo Taylor Farnsworth (1906-1971); quien -sin embargo- al negarse a vender sus patentes, no logró el financiamiento necesario para su realización comercial. En los años treinta British Gaumont, de Gran Bretaña, y RCA de EE.UU., adquirieron licencias sobre las patentes de Farnsworth. Ambas compañías venían desarrollando experimentalmente sistemas de televisión.

Dentro de la RCA, Vladímir Zworykin (1889-1982), discípulo de Borís Rosing, se basó en las realizaciones de Farnsworth (y en algunas ideas del ingeniero inglés A. A. Campbell-Swinton) para desarrollar el iconoscopio en 1923 (fue sustituido años más tarde por otros tubos de cámara, como el orticón). Como las de Farnsworth, estas cámaras perfeccionadas se basan en el barrido de las imágenes (su descomposición en líneas). De manera similar a como lo hacía mecánicamente el disco de Nipkow, en un segundo se barren electrónicamente varias imágenes completas (cuadros). La imagen así captada por la cámara en una superficie sensible a la luz es bombardeada por haces de electrones que al reflejarse son recogidos por un dispositivo y -una vez amplificados por un triodo o un transistor- se transmiten como pulsos en forma de microondas. La definición (o resolución) de la imagen depende del número de líneas verticales y horizontales, y la velocidad de barrido (el número de cuadros por segundo) da al televidente la impresión de un movimiento continuo (como en el cine, que utiliza -como norma- 24 cuadros por segundo).

Los primeros *televisores* fueron utilizados en 1928, en la ciudad de Schenectady, estado de Nueva York, EE.UU. Tenían una pantalla muy pequeña (76 mm o 3 pulgadas) y se veían bastante mal. No obstante, se construyeron en una pequeña serie por la empresa General Electric, y el 10 de mayo de 1928 comenzó a transmitir, en la propia ciudad, una estación de televisión. Similares transmisiones se realizaron en Alemania, por la misma época. Pero ninguno de estos sistemas era electrónico, sino parcialmente. Las primeras transmisiones comerciales de televisión electrónica (basadas en el sistema de Farnsworth) se produjeron en Inglaterra, en 1936, con dos normas diferentes: la EMI-Marconi, con una resolución de 405 líneas; y la Baird, con 240 líneas, en ambos casos a 25 cuadros por segundo. En 1941 se adoptó, en EE.UU., el patrón aún vigente allí de 525 líneas verticales y 30 cuadros por segundo. En ese país, las transmisiones regulares de televisión comenzaron en 1939, pero quedaron suspendidas desde 1941 hasta el fin de la Segunda Guerra Mundial, en 1945.

El auge de la televisión comenzó después de la Guerra. En 1951 se introdujo un sistema de televisión a color incompatible con el monocromático y en 1953 uno compatible (es decir, que permitía ver tanto programas “en blanco y negro”, como aquéllos transmitidos en colores), siguiendo la llamada norma NTSC (*National Television System Committee*) vigente en los EE.UU. En Francia y Alemania se crearon sistemas algo diferentes, el SECAM (*sequential color memory*) y el PAL (*phased alternate line*), respectivamente, que siguen utilizándose (este último, además de en Europa occidental, se emplea en Brasil y Argentina) Todos ellos se basan en los mismos principios electrónicos. A fines de los años sesenta ya se iniciaron las transmisiones de televisión vía satélite. Con posterioridad, se han desarrollado sistemas de digitalización de la imagen a ser transmitida.

## Avances de la Investigación Biomédica

### LOS ANTIBIÓTICOS

Se afirma que, durante el siglo XX, la esperanza de vida de la población humana del planeta en su conjunto creció, como promedio, 30 años. Hay dudas al respecto, pero sea cual fuere la cifra real, una buena parte de cualquier crecimiento en el nivel de salud de la población se debió a la eliminación o control de varias enfermedades infecciosas, gracias al saneamiento, las vacunas y los antibióticos.

Algunos científicos (entre ellos Luis Pasteur e Ilyiá Méchnikov) habían concebido la posibilidad de que sustancias producidas por microorganismos sirvieran como medicamentos contra enfermedades producidas por otros microbios. Varios realizaron experimentos al respecto, pero fue un hecho fortuito el que llevó al hallazgo del primer antibiótico por *Alexander Fleming* (1881-1955). Este bacteriólogo inglés había participado, como médico investigador, en la Primera Guerra Mundial y sus investigaciones iban dirigidas, precisamente, a tratar de obtener sustancias que disminuyeran la alta mortalidad causada por infecciones bacterianas entre los heridos de guerra. En 1928, conservaba en su laboratorio cultivos de estafilococos, bacterias que son responsables de la septicemia, abscesos y otras dolencias.



Cultivo de *Penicillium notatum*

Al retornar a su laboratorio después de varios días de ausencia, notó que una de las placas con colonias de estafilococos estaba contaminada por un hongo. Fleming estaba a punto de desechar la placa en cuestión cuando observó que las colonias de estafilococos (de color amarillento) habían desaparecido de los lugares donde había crecido el hongo. En esos lugares sólo quedaban gotas de un líquido. Obviamente, el hongo disolvía las bacterias. El hongo en cuestión era *Penicillium notatum*, y Fleming llamó consiguientemente *penicilina* al hipotético principio activo que producía.

Los esfuerzos de Fleming por aislar la penicilina fueron infructuosos. De hecho, durante casi diez años estos estudios avanzaron poco. En 1939, los investigadores *Ernst Chain* (1906-1979), bioquímico de origen judío que había huido de Alemania, y el patólogo británico *Howard Florey* (1898-1968) aislaron y purificaron la penicilina. Durante la Segunda Guerra Mundial, ante la imposibilidad de producirla en Gran Bretaña, se inició la producción de penicilina en los Estados Unidos. Este antibiótico salvó la vida a miles de heridos de guerra. También ha probado ser

eficaz contra la sífilis, el tétanos y otras enfermedades causadas por bacterias. Fleming, Chain y Florey recibieron el premio Nobel de Medicina o Fisiología en 1945.

A principios de los años treinta, investigadores alemanes y franceses sintetizaron las sulfonamidas o “sulfas”. Este antibiótico sintético de espectro amplio se sigue utilizando actualmente. La estreptomina, un antibiótico de origen microbiano, fue descubierta en 1944 por el microbiólogo estadounidense Selman Waksman y fue ampliamente utilizada para combatir la tuberculosis. Muchos otros antibióticos se han descubierto y sintetizado desde entonces.

El uso exagerado de antibióticos (con propósitos preventivos, por ejemplo) ha conducido a la aparición de numerosas cepas de microorganismos resistentes a determinados antibióticos, lo cual constituye un verdadero problema en la práctica médica actual.

## LOS MECANISMOS DE LA INMUNIDAD

Uno de los grandes avances científicos del siglo XX ha sido el descubrimiento de los mecanismos que controlan la respuesta inmune del cuerpo humano, lo cual permite la aplicación práctica de estos conocimientos al tratamiento de diferentes enfermedades.

En los años cuarenta, el virólogo australiano *Frank Macfarlane Burnet* (1899-1985) explicó cómo el sistema inmunitario del cuerpo reconoce los objetos extraños que se introducen en él. Esta habilidad surge durante los estadios tardíos del desarrollo embrionario. Cualquier sustancia presente en el cuerpo antes de este momento es reconocida como “propia” y, por ende, tolerada. Las sustancias introducidas en el cuerpo con posterioridad a este momento son reconocidas como antígenos (determinadas estructuras de las sustancias extrañas) y provocan la elaboración de anticuerpos que atacan a la sustancia extraña y procuran su eliminación. El biólogo británico *Peter Medawar* (1915-1987) comprobó la teoría de Burnet con una serie de experimentos en los cuales inyectó células del bazo de una cepa de ratones a ratones de otra cepa, antes de determinada fase embrionaria. Los ratones receptores aceptaron el implante, que -en una etapa posterior del desarrollo embrionario- es rechazado. Estos estudios y otros posteriores abrieron el camino a los trasplantes de órganos. Burnet y Medawar recibieron el premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1960.

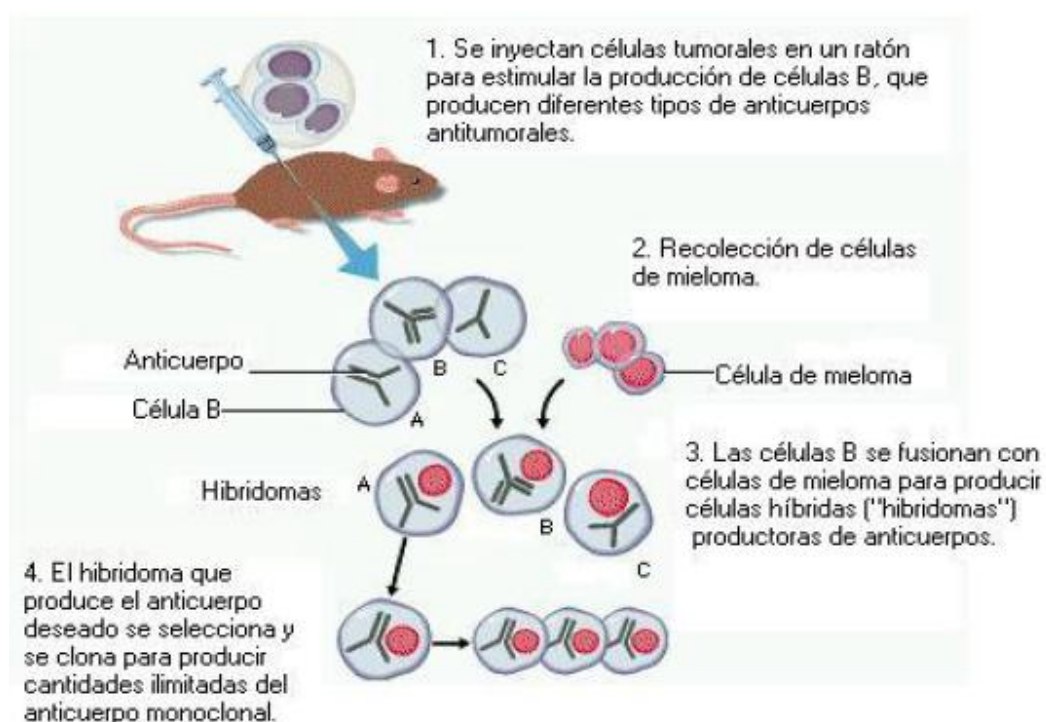
## ANTICUERPOS MONOCLONALES

Los anticuerpos monoclonales son proteínas producidas en el laboratorio dirigidas a combinarse con un antígeno específico. Se utilizan actualmente para diagnosticar el embarazo, el SIDA, las hepatitis y algunos tipos de cáncer; así como para neutralizar la acción de ciertas toxinas y el crecimiento de tumores malignos.

Las investigaciones del genetista estadounidense George Davis Snell (1903-1996) desde los años cuarenta, del inmunólogo francés Jean Baptiste Dausset (1916-2009) y del inmunólogo estadounidense (nacido en Venezuela) Baruj Benacerraf (1920- ), en los sesenta y setenta, esclarecieron las bases genéticas de la respuesta inmune y constituyen un notable aporte para el diseño de tratamientos para diferentes enfermedades, incluyendo la preparación de vacunas sobre una base científica. Se les otorgó el premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1980.

En los años setenta, tres inmunólogos, el argentino César Milstein (1927-2002) en colaboración con el alemán Georges J. F. Köhler (1946-1996), quien luego se asoció con el danés Niels Kaj Jerne (1911-1994), desarrollaron los procedimientos para la obtención de anticuerpos monoclonales. Por este trabajo, los tres investigadores antes mencionados recibieron el premio Nobel de Fisiología o Medicina correspondiente a 1984.

El método de producción de los anticuerpos monoclonales, diseñado por los tres científicos mencionados anteriormente, consiste en crear, por fusión celular, células híbridas (hibridomas) que contienen un anticuerpo específico. Se fusionan células B (productoras de anticuerpos) con células de mieloma, que -como las de todos los tumores malignos- se multiplican indefinidamente, por lo que es posible obtener y extraer de ellas cantidades suficientes de los anticuerpos clonados.

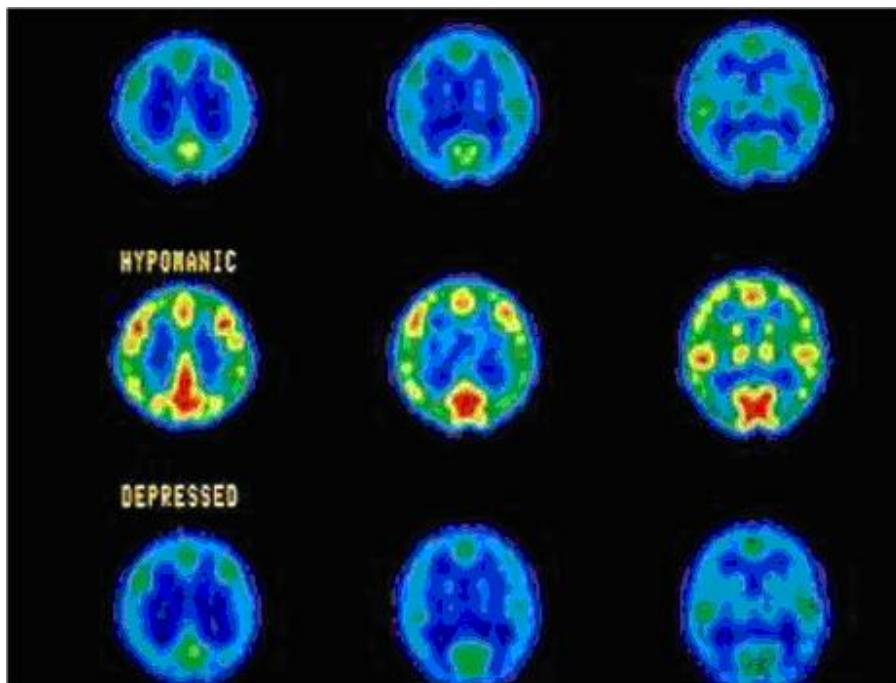


ESQUEMA DE LA PRODUCCION DE ANTICUERPOS MONOCLONALES

## MEDIOS FÍSICOS DE DIAGNÓSTICO

Desde los años setenta, varios aparatos que se utilizaban en investigaciones físicas y químicas fueron adaptados para su uso en el diagnóstico médico. Entre ellos pueden mencionarse la tomografía computadorizada (CT), la obtención de imágenes por resonancia magnética nuclear (MRI) y la tomografía de emisión positrónica (PET).

En la figura de abajo aparece la imagen PET del cerebro de un paciente que padece de la llamada enfermedad bilateral o síndrome maniaco-depresivo. En la fila superior, el paciente se halla en fase depresiva, en la del medio en un estado maníaco, y en la inferior ha retornado a la fase depresiva. Los colores azul y verde indican baja actividad cerebral, mientras que el rojo, el amarillo y el naranja señalan una actividad alta. Este tipo de imagen permite conocer qué áreas del cerebro se activan en determinados estados de los pacientes psiquiátricos.



## La Energía Nuclear

### LA RADIATIVIDAD

En 1895, el físico alemán *Wilhelm Konrad Roentgen* (1845-1923) estaba realizando experimentos con un tubo de Crookes (o tubo de rayos catódicos) cuando observó que, además del resplandor que producen estos tubos al vacío cuando se les aplica un voltaje suficientemente alto, una placa cercana, de platinocianuro de bario, también emitía luz. Como los rayos catódicos (electrones, como hoy sabemos) no pasan a través de las paredes del tubo completamente sellado, supuso correctamente que la placa había sido activada por otro tipo de rayos, a los cuales denominó *rayos X*. También se percató de que los rayos X atraviesan diferentes materiales. Años más tarde, los aparatos de rayos X comenzaron a utilizarse como instrumentos de diagnóstico médico. Roentgen recibió, en 1901, el primer premio Nobel de Física otorgado.

En 1896, el físico francés *Antoine Henri Becquerel* (1852-1908) descubrió accidentalmente la radiactividad natural. Había dejado una muestra de un mineral de uranio encima de una placa fotográfica sellada. La placa estaba velada cuando Becquerel la examinó, lo cual era un indicio seguro de que el uranio emitía rayos similares a los rayos X.

En 1897, el físico inglés *Joseph John Thomson* (1856-1940), al estudiar los rayos catódicos, descubrió que estaban constituidos por partículas de carga negativa a las cuales denominó *electrones*. Esta fue la primera partícula elemental o subatómica identificada. Thomson también propuso, al año siguiente, una primera concepción (hoy desechada) de la estructura atómica, donde el átomo consiste en una esfera de carga positiva dentro de la cual se mueven los electrones. Thomson recibió, en 1906, el premio Nobel de Física.



**Marie Skłodowska Curie** (1867-1934). Físico polaca. Personalidad emblemática de la ciencia mundial durante el siglo XX. Marie y su esposo Pierre recibieron en 1903, conjuntamente con Becquerel, el premio Nobel de Física, por sus investigaciones básicas sobre la radiactividad. Al fallecer Pierre, Marie lo sustituyó como profesor titular en la Universidad de París. En 1911 recibió el premio Nobel de Química por el aislamiento del radio. Durante la Primera Guerra Mundial organizó el primer servicio radiográfico ambulatorio, en 20 ambulancias habilitadas al efecto, y ella misma condujo uno de estos vehículos. Falleció de leucemia, probablemente causada por su exposición a la radiación nuclear.

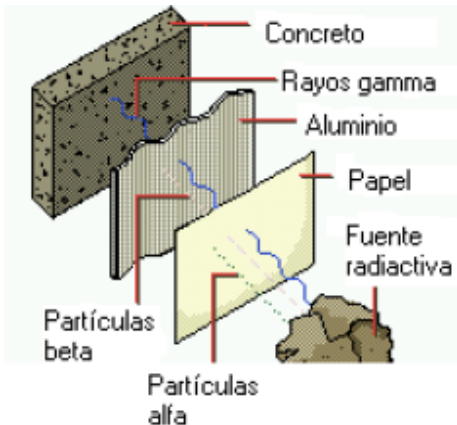
El estudio de las radiaciones, a partir de los trabajos de Roentgen y Becquerel, fue continuado por los esposos *Pierre Curie* (1859-1906) y *Marie Skłodowska Curie*.

Descubrieron que, además del uranio, el elemento químico torio también emite rayos. Los Curie se percataron de que el mineral llamado pechblenda emitía más radiación que la que se podía atribuir al uranio y al torio que contenía, lo cual apuntaba hacia la presencia de otro elemento radiactivo. En 1898, los Curie anunciaron haber descubierto en la pechblenda trazas de un nuevo elemento químico, que Marie denominó *polonio* (en homenaje a su patria) y más tarde dieron a conocer que, después de haber procesado 8 toneladas de pechblenda, habían logrado obtener 1 gramo de cloruro de otro elemento químico hasta entonces desconocido, el *radio*. El radio mostraba una alta *radiactividad* (como denominó Marie Curie a esta emisión de rayos invisibles). El ulterior perfeccionamiento de las técnicas de extracción del radio (por Marie Curie y sus colaboradores) permitió su extenso uso para el tratamiento del cáncer por irradiación.



**Ernest Rutherford (1871-1937).** Físico británico, nacido en Nueva Zelanda. Muchos lo consideran “el padre de la física nuclear”, teniendo en cuenta que propuso el primer modelo de la estructura del átomo donde el núcleo quedó claramente distinguido, que estudió las radiaciones como resultados de procesos de transformación del núcleo atómico y llevó a cabo la primera fisión nuclear. Fue además el profesor de numerosos físicos que luego alcanzaron renombre universal. Recibió el premio Nobel de Física en 1908.

En 1899, el químico francés **André Louis Debierne (1874-1949)** descubrió el elemento radiactivo *actinio* y, en el propio año, los británicos **Ernest Rutherford y Frederick Soddy (1857-1956)** descubrieron un gas noble radiactivo, el *radón*. Rutherford también propuso un modelo atómico, donde -por primera vez- se distingue el *núcleo* como una gran esfera masiva, en torno a la cual se mueven los electrones. En 1913-1915, el físico danés **Niels Bohr (1885-1962)** postuló un nuevo modelo atómico (el más conocido en la actualidad, por ser utilizado como emblema de diferentes organizaciones), el llamado “modelo planetario”, que fue considerablemente modificado, en los años 20, por Erwin Schrödinger, uno de los creadores de la *mecánica cuántica*.



Rutherford logró demostrar que el radio emitía dos tipos de radiación, alfa y beta. Identificó los rayos alfa como núcleos de helio, y los beta como electrones. Años más tarde, los rayos gamma (descubiertos en 1900) se describieron como ondas electromagnéticas de alta energía, similares a los rayos X. Estas radiaciones difieren, entre otros aspectos, en cuanto a su capacidad de penetración. En la ilustración se observa que, mientras las partículas alfa no atraviesan el papel, y las beta no traspasan una lámina de aluminio, los rayos gamma sólo son detenidos por una masa de concreto.



## LA FISIÓN NUCLEAR

En 1919, Rutherford llevó a cabo un experimento crucial: bombardeó con rayos alfa una masa de nitrógeno y obtuvo, en su lugar, oxígeno y núcleos de hidrógeno (o protones). *Había logrado, por primera vez, dividir un núcleo atómico.* Como resultado de ello, también se produjo, por vez primera, la transmutación de un elemento químico en otro. En 1933, *Federico Joliot-Curie* (1900-1958) y su esposa *Irène* (1897-1956, hija de Pierre y Marie Curie; al casarse adoptaron el apellido compuesto Joliot-Curie) demostraron que al bombardear átomos de aluminio y boro con un haz de partículas alfa se obtenían isótopos radiactivos de estos elementos. Es decir, era posible obtener, artificialmente, materiales radiactivos. En 1934, *Enrico Fermi* (1901-1954) demostró que se podían obtener mayores cantidades de materiales radiactivos mediante el bombardeo con neutrones (partículas descubiertas por el inglés Chadwick dos años antes) a baja velocidad (neutrones lentos). Ese mismo año, Fermi bombardeó uranio de esta manera y logró dividir el núcleo de este elemento, pero no comprendió correctamente lo que había logrado. Lo propio sucedió en 1938 a *Otto Hahn* (1879-1968) y *Fritz Strassmann*, dos científicos alemanes, que repitieron el experimento. Sin embargo, sus resultados fueron interpretados correctamente por los físicos austríacos *Lise Meitner* (1878-1968) y su sobrino *Otto Frisch* (1904-1979), entonces exiliados en Suecia: *se había logrado la división o fisión* (el término fue creado por Frisch, por analogía con la fisión de las bacterias) *del núcleo de uranio.*

Algunos físicos europeos habían ya supuesto que, al bombardear el núcleo de un átomo pesado (v.g., que posee muchos neutrones), como el uranio, los neutrones liberados podían provocar la división de los núcleos de los átomos cercanos, la producción de más neutrones y la división de núcleos más alejados, y así sucesivamente, hasta lograr una *reacción en cadena*. Federico Joliot-Curie suponía, acertadamente, que de lograrse el control de esta reacción, la energía liberada por ella podría utilizarse para fines tales como la producción de electricidad. Otros científicos habían especulado que, si la reacción no era controlable, daría lugar a una explosión de gran magnitud. La reacción en cadena sólo se produciría cuando el elemento a ser desintegrado (dividido) estuviera presente en una cantidad idónea; es decir, tuviera una masa suficiente, denominada *masa crítica*.

Algunos físicos exiliados en Inglaterra comprendieron el peligro que significaba que la Alemania nazi produjera un artefacto explosivo, basado en la fisión nuclear. Trataron de convencer a autoridades inglesas de este peligro, pero sólo lograron que se mantuvieran ciertos estudios teóricos. La construcción de una bomba atómica fue expresamente rechazada, como irrealizable, por el Primer Ministro, Winston Churchill. Ya se sabía que debía utilizarse uranio 235, pero no cómo separarlo del uranio 238, ni cómo producirlo en una cantidad suficiente para fabricar una bomba, puesto que se estimaba que la masa crítica necesaria podía alcanzar 40 toneladas.

En los Estados Unidos, a donde fueron a parar muchos físicos nucleares europeos, huyendo del fascismo, no existía conciencia de este peligro. El científico húngaro *Leo Szilard* (1898-1964), quien ya se había establecido en ese país, logró la comprensión de otro exiliado, Enrico Fermi, y se acercó a Albert Einstein, a quien expuso su preocupación. El 2 de agosto de 1939 Einstein escribió una carta al presidente estadounidense Franklin Delano Roosevelt advirtiéndole de la posibilidad de que los nazis desarrollaran bombas atómicas. Como resultado de esta carta, una comisión de investigadores militares comenzó a atender este asunto, que adquirió mayor importancia cuando *Otto Frisch* y *Rudolf Peierls* (1907-1995), exiliados en Inglaterra, calcularon la masa crítica de uranio necesaria para construir una bomba. Según sus cálculos, que resultaron correctos, dicha masa era mucho menor de lo que se suponía hasta entonces y permitía pensar en una bomba aerotransportada.

En definitiva, en 1942 el gobierno de los Estados Unidos decidió acometer la construcción de la bomba atómica y organizó para ello el supersecreto *Proyecto Manhattan*, que colocó bajo la dirección del general Leslie R. Groves, aunque la conducción científica recayó sobre el físico estadounidense *J. Robert Oppenheimer* (1904-1967). La sede principal de este proyecto fue un laboratorio en Los Alamos, estado de Nuevo México.

*En diciembre de 1942, Fermi logró producir una reacción controlada en cadena* en el reactor atómico que había construido en la Universidad de Chicago. A partir de este momento, las cuestiones fundamentales del Proyecto Manhattan pasaron a ser la obtención de una cantidad suficiente de uranio 235 (el isótopo más fisible -es decir, más apto para la división nuclear- de este elemento), que es alrededor de 0,7% del uranio existente; de utilizar el uranio 238 para la producción de plutonio 239 (isótopo altamente fisible, que se obtiene bombardeando uranio 238 con neutrones lentos) y de cómo construir un artefacto capaz de alcanzar la masa crítica de material fisible sólo en el momento deseado (cuando se lanzara la bomba).

El 16 de julio de 1945 se realizó la primera explosión atómica, en el desierto de Alamogordo, estado de Nuevo México. Los Estados Unidos desarrollaron dos tipos de bombas atómicas en 1945: una de uranio 235 y otra de plutonio 239. Las consecuencias del lanzamiento de dos bombas atómicas sobre Japón son bien conocidas: cerca de 200 000 muertes por la explosión y la onda de choque, además de los incendios, derrumbes y explosiones secundarias que provocaron en las dos ciudades japonesas (Hiroshima el 6 de agosto, Nagasaki el día 9), ambas densamente pobladas. A ello puede añadirse que miles de personas resultaron afectadas por la radiación.

En los años cincuenta, comenzó la utilización de la energía nuclear con fines pacíficos, sobre todo a través de la construcción de reactores nucleares para la generación de electricidad, el primero de los cuales comenzó a explotarse en Obninsk (URSS) en 1954, seguido de otros en Inglaterra y los Estados Unidos, en 1956 y 1957. A principios de los años noventa, la generación total de energía eléctrica por plantas nucleares en el mundo ascendía a casi 2 billones ( $10^{12}$ ) de kW. Los mayores generadores eran: los EE.UU. (35% del total mundial), Francia (18%), Japón (11%) y Alemania (8%). Han ocurrido accidentes en algunas de estas plantas nucleoléctricas, notablemente el de Three Mile Island (EE.UU., 1979) y, sobre todo, el de Chernóbil (URSS, 1986), este último de carácter catastrófico.

Otros usos pacíficos de la energía nuclear tienen que ver con la utilización de isótopos radiactivos con fines diagnósticos y terapéuticos, la irradiación de alimentos para su conservación y ciertos usos industriales.

Al propio tiempo, como parte importante de la *Guerra Fría*, se desarrolló la *carrera nuclear*, o competencia entre la URSS y los EE.UU. en el desarrollo y producción de armamento nuclear: las bombas de fisión-fusión (o bombas de hidrógeno) en los años cincuenta y las armas nucleares tácticas a partir de los años sesenta. Las bombas lanzadas sobre Hiroshima y Nagasaki tenían un poder explosivo de 12,5 kt (equivalente a 12 500 toneladas métricas de TNT) y 20 kt, respectivamente. En los años sesenta se llegaron a desarrollar bombas de más de 50 megatonnes (50 millones de toneladas de TNT). Afortunadamente, las armas nucleares no se han utilizado en ningún conflicto bélico, después de 1945. Sin embargo, al "club nuclear" original (EE.UU., URSS, Inglaterra) se unieron luego Francia, China y -en épocas más recientes- la India y Paquistán. Se sabe que Israel, Suráfrica y otros países también llegaron a desarrollar la capacidad de fabricar armas nucleares, aunque no han realizado pruebas con ellas. Varios tratados intentan prohibir la ulterior proliferación de este armamento.

## **La Computación Electrónica y la Microelectrónica**

Desde el siglo XVII se desarrollaron diferentes prototipos de calculadoras *mecánicas*, y ya en el siglo XX se utilizaron extensamente. A fines de los años treinta, el alemán Konrad Zuse, y los estadounidenses George Stibitz y Howard Aiken desarrollaron, de manera independiente uno del otro, calculadoras *electromecánicas*. En ellas una serie de relés eléctricos representaban números binarios (es decir, con sólo dos dígitos: el uno y el cero). Varios autores afirman que la primera computadora *electrónica* fue construida entre 1939 y 1942 por el físico estadounidense *John Atanasoff* (1903-1995); pero, de manera paralela e independiente, un grupo de criptografistas polacos, que habían construido una máquina que descifraba mensajes codificados alemanes, entregó a Inglaterra la información al respecto. Un equipo de matemáticos e ingenieros ingleses, en parte bajo la conducción de *Alan Turing* (1912-1954), desarrolló ulteriormente esta máquina y produjo en 1944 una computadora electrónica (destinada sólo a descifrar mensajes) llamada Colossus. La primera computadora electrónica en gran escala fue la ENIAC (siglas de Electronic Numerical Integrator And Computer), construida en 1946 por John W. Mauchly y J. Presper Eckert, en la Universidad de Pensilvania. Se concibió inicialmente para calcular la trayectoria de proyectiles de artillería.



Vista parcial de la computadora ENIAC

A diferencia de las computadoras modernas, que utilizan microprocesadores compuestos de miles o millones de transistores, la ENIAC utilizaba 19 000 tubos electrónicos del tamaño, cada uno de ellos, de una bombilla eléctrica pequeña. Pesaba más de 30 toneladas, ocupaba un área de unos 200 m<sup>2</sup> y consumía 175 kWh de energía. Las operaciones que realizaba pueden ser llevadas a cabo hoy por computadoras de mesa que ocupan una superficie de menos de 1 m<sup>2</sup>. Ello da una idea del avance en la minaturización alcanzado en este campo.

El desarrollo ulterior de la computación electrónica tuvo que ver con el perfeccionamiento del *hardware* (los aparatos mismos de computación) y del *software* (los programas que permiten utilizar estos aparatos). Tanto en un sentido como en el otro, estos avances se basaron en estudios teóricos, en investigaciones experimentales y en desarrollos ingenieriles.

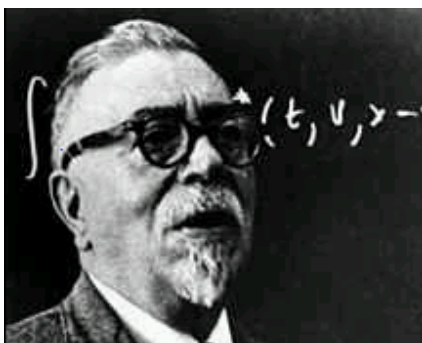
En el plano teórico, tuvo especial importancia el diseño de la computadora misma como sistema, lo que a veces se denomina “la arquitectura de la computadora”, por *John von Neumann*, quien concibió y diseñó una computadora con **memoria interna** alrededor de 1945. Este diseño teórico constituyó el fundamento para la ulterior construcción de computadoras, por colectivos de ingenieros electrónicos y otros especialistas.

**Memoria interna.** El soporte físico y la información contenidos dentro de la máquina de computación misma, no en periféricos (cintas, cassetes, etc.). Algunos autores consideran que las verdaderas computadoras son sólo aquellas capaces de almacenar internamente las instrucciones para su operación. Con conocimiento de las ideas de von Neumann, las dos primeras computadoras con almacenaje interno de programas se fabricaron en Inglaterra en 1949.



**John von Neumann** (1903-1957). Matemático húngaro-estadounidense que, junto a Oscar Morgenstern, creó la teoría matemática de juegos (1944). Durante la Segunda Guerra Mundial, sirvió como consultante del proyecto norteamericano de construcción de la bomba atómica. Después de la Guerra, se asoció con los constructores de la ENIAC para diseñar computadoras ultrarrápidas. Se le considera el principal creador de la "arquitectura" de las computadoras. Realizó aportes significativos a la estadística, al análisis numérico y al aparataje matemático de la mecánica cuántica.

También contribuyeron al desarrollo de la teoría de la computación los trabajos del ya mencionado Alan Turing, del matemático estadounidense *Norbert Wiener*, y del matemático e ingeniero electrónico estadounidense *Claude E. Shannon* (1916-2001), creador de la Teoría de la Información; así como los aportes del matemático ruso *Alexei Andréievich Liapunov* (1911-1973), complementarios, en alguna medida, de los de Wiener y Shannon.



**Norbert Wiener** (1894-1964). Fundador de la cibernética, la ciencia del control de sistemas. Durante la Segunda Guerra Mundial laboró en el cálculo de la trayectoria de proyectiles dirigidos contra blancos móviles (aviones), que requiere un constante ajuste en dependencia de la posición del blanco (*retroalimentación*). Este trabajo lo condujo a la generalización de sus concepciones hacia una teoría general del control, que es aplicable no sólo a máquinas (como las computadoras), sino a los seres vivos, y en especial al sistema nervioso (antecedente inmediato de los estudios sobre *inteligencia artificial*, que algunos incluyen dentro de la cibernética).

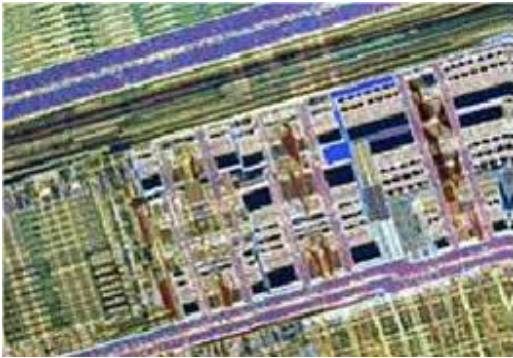
Esencial para el funcionamiento de las computadoras resulta el desarrollo de programas (el llamado *software*), un sistema de comandos que se traduce a operaciones binarias, que resultan en la apertura y el cierre de circuitos de la computadora. Los programas deben estar escritos en un determinado lenguaje de programación. El primer lenguaje de programación de amplio uso fue el FORTRAN, creado por el norteamericano John Backus, entre 1954 y 1958. Posteriormente se crearon el COBOL, ALGOL, BASIC y otros lenguajes de programación. Un grupo especial de programas constituye el **sistema operativo** de la máquina.

**Sistema operativo.** Conjunto coherente de programas que definen las instrucciones ("comandos") básicos con los cuales opera la computadora. Todo programa adicional (de interfase o de aplicaciones) que se instale en la máquina debe ser compatible con este conjunto. El sistema operativo más difundido actualmente es el Windows (de la corporación Microsoft), que comenzó como interfase gráfica de otro sistema operativo, MS-DOS, al cual ha llegado a reducir a un simple intérprete de comandos. Existen también sistemas operativos del llamado "software libre" o de "libre distribución", como el Linux y algunos de sus derivados.

La invención del *transistor*, en 1948, por los físicos estadounidenses *Walter H. Brattain* (1902-1987), *John Bardeen* (1908-1991) y *Bradford Shockley* (1910-1989) (los tres recibieron el premio Nobel de Física en 1956, por este logro) permitió sustituir

gradualmente los voluminosos tubos de radios, televisores y computadoras por el pequeño transistor. La invención del transistor se basó en estudios fundamentales de materiales **semiconductores**. Estos materiales permiten una considerable disminución del tamaño de los circuitos electrónicos hasta el punto que estos circuitos se hacen microscópicos. Ello también permite la integración de múltiples grupos de transistores (*chips* o circuitos integrados) en una sola unidad procesadora, también de pequeño tamaño, denominada *microprocesador*, que de hecho equivale a una pequeña computadora.

**Semiconductor.** Material sólido o líquido capaz de conducir la electricidad a temperatura ambiente mejor que un aislante, pero no tan bien como un metal. La propiedad de muchos semiconductores de dejar pasar la corriente en un sentido y no en otro permite utilizarlos como rectificadores y amplificadores. Los materiales semiconductores más conocidos son los elementos químicos silicio (Si), germanio (Ge) y selenio (Se), y compuestos tales como el arseniuro de galio, o el seleniuro de cinc.



Vista de un microprocesador Pentium (1998)  
(aumentado aproximadamente 2 veces)

El primer microprocesador fue el Intel 4004, diseñado por el ingeniero Ted Hoff y producido en 1971. Contenía 2300 transistores y podía realizar 60 000 operaciones por segundo. Se estima que el más avanzado microprocesador en proyecto en la actualidad contendrá unos 50 millones de transistores y realizará cientos de millones de operaciones por segundo. Estos son avances logrados en el campo de la *microelectrónica*, que tienen además múltiples aplicaciones, desde la exploración médica del cuerpo humano, hasta la exploración del espacio cósmico.

La reducción en el tamaño de los elementos fundamentales de la computadora permitió el desarrollo, en 1975, de la primera *computadora personal* (la Altair 8800) y, dos años más tarde, de la primera computadora personal (o de mesa), concebida para un amplio espectro de usuarios (la Apple II). Posteriormente se desarrollaron las computadoras portátiles (también llamadas *laptops*, es decir computadoras de regazo, o *notebooks*, cuadernos), de menor tamaño, que tienen pantallas de cristales líquidos (LCD) y un alto grado de integración en su diseño.

El estudio de la computación electrónica constituye hoy el campo de la *ciencia de la computación* (a veces llamada *informática*). La computación electrónica es hoy la base de la administración de grandes sistemas, de la automatización de la producción (fundamentalmente la *robótica*), y de una red mundial de información y comunicación (*Internet*), entre otras aplicaciones. Como facilita considerablemente el almacenaje y procesamiento de información de todo tipo, la computadora (u ordenador) pasa a ser, cada vez más, un elemento tan importante en el ambiente hogareño como el televisor o el teléfono.

## El Láser.

El estudio de las microondas (que cubren el espectro de ondas electromagnéticas entre las de radio y las infrarrojas) del radar llevó a la conclusión de que era posible

**Radar.** Acrónimo de “radio detection and ranging” (detección y cálculo de distancia por radio). Aparato electrónico que emite ondas de radio o microondas y las recibe cuando ellas rebotan contra un objeto. Permite la detección y la determinación de la forma de los objetos, y medir la distancia a la cual se hallan. Aunque existieron intentos anteriores (entre ellos uno de Marconi, en 1922), el radar como instrumento confiable de detección, basado en el uso de microondas, existe desde que en 1939 los físicos ingleses Boot y Randall inventaron el magnetrón de cavidad resonante. El radar se ha perfeccionado considerablemente desde entonces y se utiliza extensamente en la aviación, la navegación marítima, la meteorología e incluso para controlar el tránsito de automóviles.

producir ondas coherentes (limitadas a un solo rayo no divergente) con una mayor energía y de una sola frecuencia; es decir, que se podía uniformar y amplificar extraordinariamente el tipo de onda que se producía. Ello debía lograrse por medio de un procedimiento denominado *emisión estimulada de la radiación*,

El punto de partida original de los estudios teóricos sobre esta cuestión fue un trabajo de Albert Einstein publicado en 1917, el cual –junto a otros aportes teóricos y experimentales posteriores– fue desarrollado y aplicado, desde 1953, por los físicos soviéticos *Nikolai Básov* (1922-2001) y *Alexander Prójorov* (1916-2002). Estos científicos construyeron los primeros osciladores cuánticos y el primer generador cuántico de emisión continua de microondas (o máser- acrónimo de “microwave amplification by

stimulated emission of radiation”- amplificación de microondas por emisión estimulada de radiación). Trabajos en alguna medida similares fueron realizados, de manera independiente, por el físico estadounidense *Charles H. Townes* (1915- ), quien –alrededor de 1953– había construido un máser que no producía una emisión continua de microondas.



Nikolai Básov

Alexander Prójorov

Charles Townes

Estos tres investigadores, y algunos más, prosiguieron sus trabajos en la dirección de amplificar la radiación infrarroja o visible. Básov, Prójorov y Townes fueron galardonados con el premio Nobel de Física de 1964 por su “trabajo fundamental en el campo de la electrónica cuántica, que ha conducido a la construcción de osciladores y amplificadores basados en el principio del máser-láser.”

El máser se utilizó en el perfeccionamiento del radar y en la construcción de **relojes atómicos**, mucho más precisos que cualquier otro tipo de reloj. Los mismos principios se emplearon para la construcción del **láser** (acrónimo de “light amplification by stimulated emission of radiation” -amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación), que en lugar de amplificar microondas, lo hace con radiación visible e infrarroja. Una determinada sustancia pura es activada por una fuente de energía y estimulada por una fuente de luz. La absorción de la luz por los átomos de esta sustancia provoca, a su vez, por **excitación**, la emisión de radiación (cuantos de luz o fotones) en el espectro visible de las ondas electromagnéticas (aunque existen láseres que emiten radiación invisible).

**Reloj atómico.** Instrumento que mide el tiempo por la frecuencia de la radiación emitida por un átomo o molécula al transitar de un estado o nivel energético a otro. En los relojes atómicos *activos*, el tránsito es inducido por un generador cuántico de microondas (máser); en los *pasivos*, cuyo uso predomina en la actualidad, el patrón de tiempo es un isótopo radiactivo, generalmente el Cesio 137, cuya desintegración (por medio de la emisión de radiaciones que se miden por un contador) se produce con una frecuencia estable.

La luz del láser es monocromática (una sola frecuencia y longitud de onda), se traslada en una sola dirección (sobre una sola línea) y tiene una mayor energía que la luz polarizada obtenida por medios puramente ópticos. El primer láser se fabricó entre 1960 y 1962. El láser de uso más común es, probablemente, el de baja energía que tienen todas las reproductoras de discos compactos (CD) de audio o de video (CD-ROM o DVD). Pero el láser tiene ya múltiples aplicaciones y es de suponer que tendrá muchas más. Muchos consideran que el láser se convertirá, gradualmente, en el medio de comunicación por excelencia. La transmisión por láser a través de fibras ópticas equivale a multiplicar por 1000 las capacidades de transmisión por microondas, lo que significa la posibilidad de transmitir una inmensa cantidad de información visual y sonora.

En la fotografía se observan dos láseres en funcionamiento: uno que se basa en la estimulación de átomos del gas argón (luz roja) y otro que utiliza el neodimio (luz verde), un elemento químico excitable en estado sólido. Los rayos de luz cambian su trayectoria al ser reflejados por espejos.



Las aplicaciones de láser a la cirugía, por ejemplo, son ya de uso común. Sustituye al bisturí en delicadas operaciones oculares, pero también se emplea para microtrepanaciones del cráneo y para la cauterización de vasos sanguíneos.

Potentes láseres, de alta energía, se utilizan en la industria para perforar diamantes, configurar máquinas herramientas, fabricar microprocesadores, grabar discos compactos, sintetizar nuevos materiales, entre otros usos.

Otros tipos de láseres se emplean también en la fotografía ultrarrápida (tiempo de exposición del orden de las billonésimas de segundo) y para nivelación en las obras de construcción. Como instrumento de medición muy preciso, que permite detectar pequeñísimos cambios de posición de los objetos, el láser se utiliza para mediciones geodésicas (entre otras, las relacionadas con el desplazamiento de la corteza terrestre previo a terremotos y erupciones volcánicas).

En el trabajo científico, el láser se emplea en microanálisis químicos, en estudios de estructura molecular, para la captura de determinadas partículas elementales, y en los experimentos de fusión nuclear.

La holografía es una técnica de creación de imágenes "tridimensionales" con el uso del láser, que se utiliza para producir y reproducir *hologramas* (el nombre de este tipo de reproducciones) de obras de arte o de piezas de aparatos e instrumentos. También existe, experimentalmente, la cinematografía holográfica.



## PM Pruna Goodgall/Principales descubrimientos e invenciones en el siglo XX-Capítulo 8

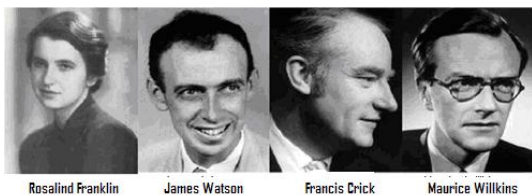
### La Genética Molecular y la Ingeniería Genética

La genética surge como ciencia en 1900, con el redescubrimiento de los trabajos del monje checo *Gregor Mendel* (1822-1884), publicados en 1866. Mendel demostró cuantitativamente que la herencia de ciertos caracteres de las plantas que estudió (guisantes) podía ser comprendida como resultado de la transmisión, de progenitores a hijos, de ciertos determinantes discretos a los cuales luego se denominó genes. Estudios posteriores mostraron que los genes podían estar vinculados con los cromosomas del núcleo de las células de plantas y animales.

Las investigaciones realizadas por *Thomas Hunt Morgan* (1866-1945, recibió el premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1933) y sus colaboradores con la mosca *Drosophila melanogaster* (que posee cromosomas "gigantes") lograron vincular determinados genes a cromosomas específicos (cuando faltaba un gen, faltaba una determinada región del cromosoma, por ejemplo). Esta mosca posee 4 pares complementarios de cromosomas, el hombre posee 23. Ya hacia los años 40, la teoría cromosómica de la herencia estaba bien establecida. Mas no se conocía de qué estaban compuestos los genes. La mayoría de los científicos pensaba que los genes eran proteínas.

#### GENÉTICA MOLECULAR

En 1944, el científico canadiense *Oswald Theodore Avery* (1877-1955) demostró que la inyección del ácido desoxirribonucleico (ADN) de una cepa de bacterias en otra cepa diferente provoca que ésta última adquiera características de la cepa de la cual proviene el ADN inyectado. El estudio detallado de las moléculas de ADN se hizo posible al desarrollarse, sobre todo después de la Segunda Guerra Mundial (principalmente por científicos ingleses), las técnicas de purificación de grandes moléculas (macromoléculas) orgánicas y del análisis cristalográfico de ellas por medio de la difracción de rayos X.

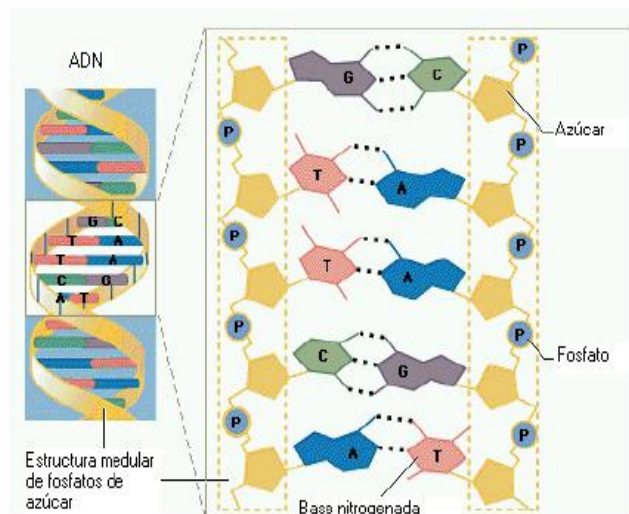


A partir de las investigaciones cristalográficas de Rosalind Franklin (1920-1958), y con la colaboración de Maurice Wilkins (1916-2004), los investigadores Francis Crick (su ciclo vital coincide con el de Wilkins) y James Watson (1928- ) lograron dilucidar la estructura del ADN en 1953 (fecha de nacimiento de la *genética molecular*). Todos ellos eran ingleses, salvo el estadounidense Watson, y todos -con la excepción de la Franklin, quien no recibió entonces el debido crédito y falleció prematuramente- recibieron el premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1962.

La estructura del ADN resultó corresponder bien a las funciones que debía tener una sustancia involucrada en la herencia, pues se trata de una macromolécula con dos cadenas complementarias, enrolladas una en torno a la otra, estructura que se dio en

llamar “la doble hélice”. Una cadena es el complemento de la otra, de manera análoga a los cromosomas de un mismo par, que son complementarios. Gracias a esta complementación, una cadena de ADN puede servir de matriz para la síntesis de otra, es decir de una “réplica” de la primera. El otro ácido nucleico involucrado en la trasmisión de caracteres hereditarios es el ácido ribonucleico (ARN), que tiene una sola cadena, compuesta también de nucleótidos (azúcar, fosfato y base nitrogenada), pero en lugar de tener la timina entre sus cuatro bases, tiene uracilo (U). También se descubrieron en los años cincuenta dos formas de ARN: el mARN o ARN mensajero y el tARN o ARN transportador. Hoy se conocen varias formas más.

El ADN consta de dos cadenas, la porción invariante de cuya estructura está determinada por la presencia de moléculas de azúcar enlazadas por radicales de fosfato. Las dos cadenas se mantienen unidas entre sí gracias a la presencia de bases complementarias. Así la adenina (A) sólo se complementa con la timina (T), mientras que la guanina (G) sólo se une con la citosina (C). La cadena de la izquierda tiene una secuencia GTTCA y la de la derecha, CAAGT.



En 1956, el bioquímico estadounidense *Arthur Kornberg* (1918-2007) logró sintetizar en el laboratorio la molécula de ADN; esta molécula era biológicamente inactiva (ya en 1967 el propio Kornberg logró la síntesis de una molécula activa). Por la misma época, el bioquímico hispano-estadounidense *Severo Ochoa* (1905-1993) sintetizó la molécula del ácido ribonucleico (ARN). Kornberg y Ochoa recibieron el premio Nobel de Fisiología o Medicina de 1959.

Gradualmente se esclareció que el mARN se sintetiza en el núcleo celular tomando como matriz el ADN, luego pasa al citoplasma, y se incluye en unas partículas denominadas ribosomas. Cada mARN copia una parte del ADN que define la estructura de una determinada proteína. Los aminoácidos (que componen las proteínas) se encadenan entre sí, y forman proteínas, al ser llevados a los ribosomas por el tARN. Esta “cadena de ensamblaje” garantiza la síntesis de proteínas a partir de las “instrucciones” heredadas, contenidas en el ADN, Cada tipo de tARN transporta un determinado aminoácido hacia la “cadena de ensamblaje”.

A la correspondencia entre la estructura del ADN y la estructura de las proteínas se la denomina *código genético*. Las proteínas son macromoléculas que, en lo esencial, determinan la estructura y el funcionamiento de las células. Al contener “instrucciones” para la síntesis de proteínas, el ADN de hecho controla toda la actividad celular. La herencia, pues, consiste fundamentalmente en la trasmisión -de padres a hijos- de estas instrucciones codificadas en el ADN de los cromosomas celulares. El código genético es

esencialmente el mismo para todos los seres vivos. Al trabajo experimental de los bioquímicos estadounidenses *Marshall Nirenberg* (1927- ) y *Robert Holley* (1922-1993), y del bioquímico y genetista indio *Har Gobind Khorana* (1922- ) se debe, básicamente, la determinación del código genético. Ellos recibieron el premio Nobel de Fisiología o Medicina correspondiente a 1968.

## **LA INGENIERÍA GENÉTICA**

Aun cuando, por medio de la creación de híbridos o por selección artificial, el hombre - desde épocas remotas- logró crear nuevas formas de plantas y animales, no puede decirse que ejerciera control sobre la herencia. El conocimiento de las bases moleculares de ésta le abrió el camino hacia la intervención directa en el material génico, mediante su transformación. Un primer paso en este sentido fue el hallazgo, en 1973, de las *enzimas de restricción*. Se trata de proteínas que permiten cortar una molécula de ADN en determinados sitios. De esta manera, un gen o grupo de genes de un organismo puede ser aislado y trasladado a otro organismo. Para este traslado se emplean partículas de ADN no cromosomal llamadas *plasmidios*. El gen a ser trasladado se *recombina* con el ADN del plasmidio. A veces, en lugar de un plasmidio, se emplea un virus. En términos generales, la ingeniería genética es una tecnología basada en el uso de *ADN recombinante*.

Una de las primeras aplicaciones de estas técnicas se realizó en 1981, cuando el gen de la insulina (cuya ausencia causa la *diabetes mellitus*) fue combinado con un plasmidio e introducido en una célula bacteriana. Ello hizo factible obtener insulina de los cultivos de esta bacteria, lo cual supone la posibilidad de producir esta hormona (una proteína) en mayores cantidades, si bien la insulina ya se producía artificialmente, por síntesis química. A esta reproducción de un gen de un organismo en otro organismo, con la consiguiente obtención de copias idénticas al gen original, se la denomina *clonación transgénica*.

Con este mismo procedimiento pueden trasladarse genes entre organismos muy diferentes (por ejemplo, de una mosca a un ratón) para conferir al organismo receptor determinadas características (pongamos por caso, la resistencia a una enfermedad). Así se obtienen cepas o variedades transgénicas de plantas, animales o microorganismos. La transgenización se realiza, por lo general, en etapas tempranas del desarrollo (huevo o embrión) para así garantizar que el organismo porte este gen en todas sus células.

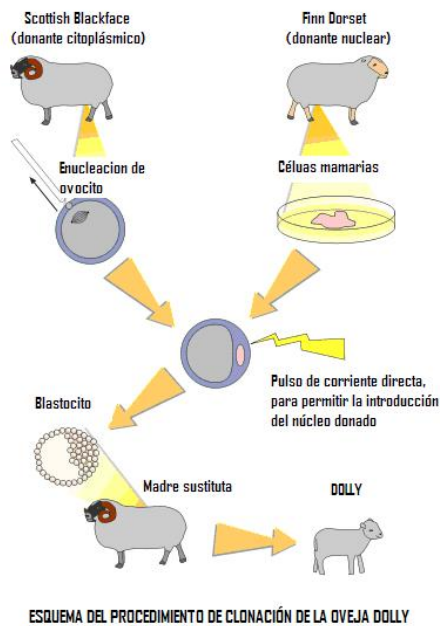
La ingeniería genética ha encontrado ya muchas aplicaciones. Existen cepas transgénicas de plantas resistentes a diferentes enfermedades o que producen mayores cantidades de un determinado compuesto, y de animales que alcanzan un mayor peso corporal que los individuos normales o muestran otras características no propias de su especie. Son especialmente importantes las aplicaciones en la producción de nuevos tipos de compuestos farmacológicos.

El cultivo o cría en gran escala de estos organismos despierta preocupación en algunos medios, dado que no se sabe a qué resultados pudiera conducir el cruce frecuente con otros (normales) de su especie. Sin embargo, la creación de ciertas cepas transgénicas de microorganismos (para la producción de insulina, por ejemplo) despierta pocas objeciones, debido a que esta producción se realiza en un medio controlado. Tampoco despierta objeciones el uso de la *terapia génica* para la curación de ciertas enfermedades del hombre. En estos casos, los pacientes son inyectados con un gen que les falta o

cuyos productos compensan la falta de otro compuesto en el organismo. Pero esta técnica se halla en su infancia, y sus posibilidades y riesgos no se conocen bien.

Aparte de las dificultades técnicas y del alto costo de los procedimientos genético-ingenieriles, su difusión se ve obstruida por la excesiva mercantilización de esta actividad. La posibilidad de patentar animales y plantas modificados por transgénesis (de hecho ya se han otorgado muchas patentes al respecto) puede dar lugar a un control sin precedentes de la producción agrícola y ganadera por un puñado de corporaciones transnacionales, y muchos científicos y juristas consideran ilegítima dicha patentación.

### CLONACIÓN A PARTIR DE CÉLULAS SOMÁTICAS



Otro sentido que tiene la palabra *clonación* en estos estudios es la de obtener individuos a partir de los genes de una célula somática, es decir no implicada, normalmente, en la reproducción sexual. Ello ya se había logrado partiendo de células embrionarias, pero existía la duda de si se podría realizar con células ya diferenciadas (especializadas en ciertas funciones corporales, ajenas a la reproducción). En 1997 se anunció la clonación de un mamífero (una oveja llamada Dolly) a partir de una célula somática de su madre, reintroducida en un ovocito enucleado (al cual se le ha destruido el núcleo) de la propia madre. Dolly vivió poco menos de siete años (1997-2003). Se han obtenido, por un procedimiento similar, individuos clonados de otras especies. Existen al respecto serias preocupaciones de tipo ético, sobre todo en cuanto a la posible extensión de estos procedimientos a los seres humanos.

### GENÓMICA

Gracias al desciframiento del código genético y al desarrollo de la ingeniería genética se hizo posible la caracterización molecular y localización de todos los genes de una especie, de su *genoma*. En 1990 se inició un proyecto de caracterización del genoma humano, con una duración prevista de 15 años. En junio del año 2000 se anunció que el proyecto había logrado la secuenciación de 97% y la cartografía de 80% del genoma humano. Con ello concluyó -en lo esencial- este proyecto, cinco años antes de lo previsto; pero todavía se desconocen las funciones de muchos de los genes cartografiados, por no hablar de cómo se expresan en el fenotipo,

## Tecnología y Exploración Cómicas



El viejo anhelo del hombre de viajar fuera de nuestro planeta y explorar otros cuerpos celestes comenzó a cumplirse en el siglo XX. Las exploraciones realizadas hasta ahora han enriquecido considerablemente nuestro conocimiento del universo y, en especial, del sistema planetario que habitamos.

### LA COHETERÍA

El uso de los cohetes se conoce desde hace siglos. Parecen haber sido inventados en China alrededor del siglo XI y ya en el siglo XIV eran conocidos en Europa. En la India fueron tradicionalmente utilizados como armas. En todos estos casos, se trataba de artefactos propulsados por la explosión de la pólvora. Los conocidos “voladores”, que se usan en las festividades, son cohetes de este tipo.



Konstantín Tsiolkovski

Pero sólo en el siglo XIX se comenzó a pensar en la posibilidad de utilizar cohetes para viajar al cosmos. El primero en proponerlo, de manera razonada y coherente, fue el maestro ruso *Konstantín Eduárdovich Tsiolkovski* (1857-1935) en los años ochenta del siglo XIX. Continuó elaborando sus ideas, hasta esbozar el primer diseño de un *cohete de etapas múltiples*. Aunque sus concepciones eran apenas conocidas fuera de Rusia, sí atrajo la atención de jóvenes físicos e ingenieros rusos.

Independientemente de Tsiolkovski, el físico norteamericano *Robert Goddard* (1882-1945) comenzó a construir cohetes experimentales con combustible sólido y, más tarde, con combustible líquido. Sus principales ideas al respecto se publicaron en 1919. Las ideas de Goddard apenas encontraron seguidores en los EE.UU. Mucha mayor difusión tuvieron las del maestro alemán, nacido en Hungría, *Hermann Oberth* (1894-1989). Su obra principal se publicó en 1923 e influyó en la formación, en Alemania, de una Sociedad para Vuelos Espaciales, que comenzó a realizar experimentos de cohetería en 1930.

Ya antes de la II Guerra Mundial, la cohetería alcanzó su mayor desarrollo en Alemania, con fines militares. En 1932 se estableció un programa secreto al respecto, y en 1937 un

centro para el desarrollo de cohetes de gran tamaño (capaces de transportar una carga explosiva significativa) en la isla de Peenemünde, en el mar Báltico. El director técnico de este centro era *Wernher von Braun* (1912-1977).y su producto más conocido el cohete V-2 (en la foto debajo), de combustible líquido, con un alcance de unos 300 km, que se utilizó -sobre todo- para bombardear a Inglaterra y Holanda.



Al finalizar la Segunda Guerra Mundial, en 1945, las tropas de los EE.UU. lograron apoderarse de varios cohetes V-2, de sus planos, y de personal que laboraba en su diseño y construcción. Así fue a dar *Wernher von Braun* a los EE.UU., donde comenzó a dirigir técnicamente un programa para la fabricación de misiles.

El programa soviético fue dirigido por *Serguei Pávlovich Koroliov* (1906-1966), quien había colaborado en el diseño de las armas coheteriles soviéticas (las famosas “katiushas”) durante la Segunda Guerra Mundial. Koroliov diseñó y dirigió la construcción de los primeros misiles multipropulsados de etapas múltiples, en los cuales se basó el programa cósmico soviético.

Tanto los Estados Unidos, como la URSS desarrollaron misiles de muy largo alcance, llamados intercontinentales, para servir como portadores de bombas nucleares. En algunos casos, estos artefactos fueron adaptados para ser utilizados, también, en vuelos cósmicos. Quizás los misiles más conocidos durante esta etapa fueran los diferentes modelos del *Soyuz* (URSS) y del *Saturno* (EE.UU.). Otros países que desarrollaron, posteriormente, misiles intercontinentales fueron China y Francia.

## PRIMEROS SATÉLITES Y VUELOS CIRCUNTERRESTRES



El 4 de octubre de 1957, la URSS lanzó al cosmos el primer satélite artificial de la Tierra, el Sputnik 1 (foto a la izquierda), utilizando un misil Soyuz. El satélite era una esfera de 83 kg de peso que contenía instrumentos para medir y transmitir datos sobre la temperatura, la densidad atmosférica y los impactos de micrometeoritos, entre otros.

La profunda impresión que causó en todo el mundo el lanzamiento del Sputnik 1 difícilmente pueda exagerarse. Además, el 3 de noviembre de 1957, la URSS lanzó al cosmos el Sputnik 2, que llevaba a bordo una perra, llamada Laika. El peso de este sputnik era de 508 kg. Los Estados Unidos respondieron con el lanzamiento del Explorer 1, de sólo 14 kg, mientras que el Sputnik 3, lanzado poco después, pesaba 1,3 toneladas. La capacidad de los misiles soviéticos de transportar mayores cargas que los misiles estadounidenses provocó cierta alarma entre los círculos gobernantes de los Estados Unidos, e impulsó a ese país a dedicar más recursos al programa espacial. Mientras tanto, los Sputnik 5, 6, 9 y 10 fueron lanzados en 1960 y 1961. Todos ellos transportaron perros, y estaban destinados a la realización de investigaciones médicas preparatorias del primer vuelo cósmico de un ser humano.



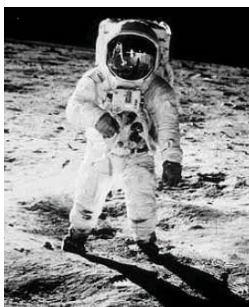
El 12 de abril de 1961, el piloto ruso Yuri Alekséievich Gagarin (1934-1968, foto a la izquierda) se convirtió en el primer ser humano en navegar en el espacio cósmico. Lo hizo en la nave Vostok 1, que dio una vuelta alrededor de la Tierra. El vuelo duró 108 minutos. Otros vuelos notables del programa Vostok fueron el del Vostok 6, en el cual Valeri Bykovski estableció el récord (aún vigente) de mayor tiempo solo en el espacio (5 días). Y el Vostok 6, el último, con la primera mujer que voló al cosmos, Valentina

Tereshkova. El programa Vostok fue sustituido por el Vosjod, que incluyó sólo dos vuelos, con tripulaciones de 3 y 2 personas.

## LA LUNA

En paralelo con los programas *Sputnik* y *Vostok*, la URSS inició el programa *Luná*, que incluyó 24 vuelos no pilotados a la Luna. Los más notables fueron el Luná 2 (primer objeto humano en impactar la Luna), Luná 9 (primer aparato que realizó un alunizaje), Luná 15, 16 y 24, que depositaron aparatos para la recogida de muestras del suelo lunar, las cuales -una vez obtenidas- regresaron a la Tierra en una cápsula autopropulsada. Los referidos artefactos también enviaron información por radio. Las sondas Luná 17 y 21 depositaron sobre la superficie lunar un vehículo teledirigido, llamado Lunajod, pequeño laboratorio ambulante, destinado a realizar mediciones, analizar muestras y transmitir los resultados a la Tierra. Luná 19 y 22 funcionaron como satélites artificiales de la Luna. El programa *Luná* se llevó a cabo entre 1959 y 1976.

Mientras tanto, los EE.UU. también enviaban sondas a la Luna. Las sondas *Pioneer* 1-4 brindaron poca información (otras sondas de esta serie, sin embargo, realizaron exitosas exploraciones del Sol y el sistema solar), fueron sustituidas por las series *Ranger* (1961-1965), *Surveyor* (1966-1968) y su complemento, *Lunar Orbiter* (1966-1968). Estas sondas y el programa *Gemini* (10 vuelos pilotados, 2 no pilotados, entre 1964 y 1966) estaban destinados a preparar las condiciones para la realización del programa *Apolo*. Después de un fracaso inicial (Apolo 1), en el cual fallecieron los tres tripulantes de la nave, y que condujo a una mayor cautela y a misiones no pilotadas, el programa de vuelos pilotados se reinició con Apolo 7, y ya Apolo 8-10 realizaron vuelos orbitales alrededor de la Luna, preparatorios del Apolo 11.



**Edwin Aldrin sobre la superficie lunar (20 de julio, 1969).**

En el vuelo Apolo 11 participaron tres *astronautas* (nombre que se dio en EE.UU. a los tripulantes de vuelos espaciales, para diferenciarlos de los *cosmonautas* soviéticos): *Neil Armstrong*, *Edwin Aldrin* y Michael Collins. Mientras el último permanecía en órbita alrededor de la Luna en la nave *Columbus*, los dos primeros llegaron a la superficie lunar el 20 de julio de 1969. Permanecieron allí, en total, algo más de 21 horas, de ellas 2 horas y 31 minutos fuera de la nave *Eagle*, antes de regresar al vehículo orbital. Apolo 12, y 14 a 17 realizaron misiones similares entre 1969 y 1972 (Apolo 13, como se sabe, casi termina en tragedia). Desde entonces no se han realizado más alunizajes de naves tripuladas.

## LAS ESTACIONES ORBITALES

En el programa de investigaciones cósmicas de la URSS se hizo énfasis en la creación de estaciones orbitales tripuladas, que se mantenían habitadas durante períodos relativamente largos, destinadas a estudiar el comportamiento de los cosmonautas, el espacio circunterrestre y la Tierra misma. Las primeras estaciones orbitales fueron las 7 de la serie Saliut (1971-1982) y consistían en un solo módulo, de 19 toneladas. La Saliut 1 estuvo sólo 6 meses en el cosmos. Después de permanecer 3 semanas en la estación, tres cosmonautas fallecieron durante el vuelo de regreso a bordo de la nave Soyuz 11. Las naves Soyuz servían para trasladar las tripulaciones de la estación.

En 1973, los Estados Unidos pusieron en órbita su estación orbital *Skylab*, que recibió 4 tripulaciones hasta 1974, cuando dejó de utilizarse (cayó a Tierra en 1979). Se emplearon naves Apolo para el traslado de las tripulaciones. En 1975 una nave Apolo acopló con la nave soviética Soyuz-19.

El programa estadounidense derivó hacia el diseño y construcción de transbordadores espaciales reutilizables, cuyo lanzamiento se realiza con el impulso de un misil, pero que retornan a Tierra y aterrizan como aviones. El primer transbordador, el *Columbia*, fue lanzado en 1981. Los otros tres, existentes hasta ahora, se denominan *Discovery*, *Atlantis* y *Endeavour*. Este último reemplaza al *Challenger*, destruido en un accidente, donde fallecieron sus 7 tripulantes, en 1986. Estos transbordadores pueden transportar un laboratorio completo, llamado *Spacelab*, y colocar satélites y otros objetos en órbita. En 1988, la URSS produjo un transbordador reutilizable propio, llamado *Burán*, a ser transportado por el mayor avión que jamás se haya construido, el Antónov 225 (de casi 600 toneladas de peso), pero el programa en cuestión se detuvo en 1993.

La URSS lanzó la estación orbital *Mir*, mucho mayor que las de la serie Saliut, en 1986. Todavía, en el año 2000, permanecía en órbita. A falta de una estación propia, astronautas estadounidenses y de otros países han utilizado también la *Mir*. Ya se ha puesto en órbita y se está utilizando una nueva estación, de carácter internacional.

## ALGUNOS RESULTADOS DE LA EXPLORACIÓN ESPACIAL

La exploración cósmica con sondas espaciales ha permitido adquirir un enorme cúmulo de conocimientos sobre la Luna, varios planetas y otros cuerpos del sistema solar.

En la actualidad cientos de satélites permanecen en órbita alrededor de la Tierra con diferentes finalidades: militares ("satélites espías", que pueden detectar un objeto del tamaño de una hoja de papel de carta desde 160 km de altura), científicos (incluyendo telescopios espaciales), de navegación, de comunicaciones, y meteorológicos.

Los satélites de comunicaciones garantizan la comunicación telefónica y las transmisiones de televisión alrededor del planeta. Los satélites meteorológicos son, sobre todo, geoestacionarios (se encuentran siempre sobre la misma zona de la Tierra, gracias a que giran aproximadamente a la velocidad de rotación de la Tierra). No son geoestacionarios algunos satélites meteorológicos de órbita circumpolar baja, que se utilizan -sobre todo- para pronóstico a largo plazo. Los satélites científicos están dedicados a la exploración de la superficie terrestre y de otros planetas, en torno a los cuales se colocan en órbita. Los satélites de navegación emiten señales que son recibidas por aparatos que pueden tener el tamaño de una calculadora de mano. Estos aparatos determinan, por triangulación, la longitud y latitud donde se encuentran, valiéndose de las señales de 3 satélites. Para determinar la altitud, se precisa de la señal de un cuarto satélite. El GPS (siglas de *Global Positioning System*, el antiguo *Navstar*) tiene alrededor de 24 satélites permanentemente en órbita, por lo que en cualquier punto de la superficie terrestre resulta posible valerse de sus servicios.



## Ecología y Biodiversidad

La preocupación por conservar la fauna y la flora se manifestó tempranamente en los bosques patrimoniales y cotos de caza de la aristocracia medieval, donde la caza y el uso de la madera estaban reservados a los propietarios del feudo. Su finalidad, obviamente, era muy restringida: tener siempre una reserva para aderezar la mesa y mantener encendido el hogar y el fogón de los señores feudales. Con un propósito más democrático se promulgaron, sobre todo en el siglo XX, las vedas y otras prohibiciones temporales de cazar o pescar, y se desarrolló la práctica de conservar como parques nacionales aquellos lugares que poseen una singular belleza natural o donde existen paisajes y fenómenos naturales únicos.

La tala de bosques, que implica también la destrucción de la fauna, alcanzó proporciones sin precedentes durante el siglo XIX y el XX, como resultado del desarrollo de la agricultura, la industria, las zonas urbanas y el transporte (las carreteras para automóviles).

Ya durante el siglo XIX algunos pensadores se percataron de las consecuencias que tales hechos podían tener para el hombre mismo. Federico Engels, por ejemplo, se refirió a la destrucción de los suelos por la erosión, y uno de los ejemplos que brindó fue el de los cafetales de las montañas del oriente de Cuba.

Durante el siglo XIX numerosas especies de animales y plantas fueron exterminadas por la acción directa del hombre. Quizás los casos más conocidos hayan sido los del bisonte americano o “búfalo” y la paloma pasajera, víctimas ambos de la expansión de los colonos y los ferrocarriles en América del Norte. Ambas especies eran tan abundantes en la primera mitad del siglo XIX, que parecían inextinguibles.



La paloma pasajera (*Ectopistes migratorius*). El último ejemplar murió en 1914.

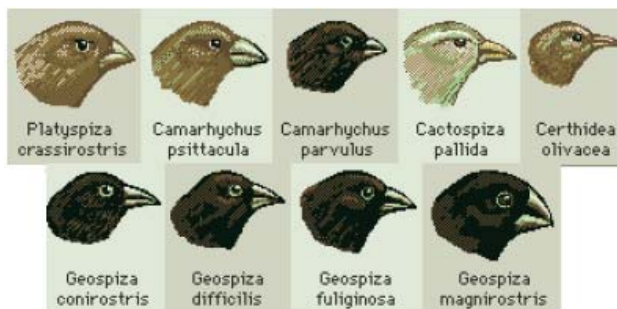
Desde mediados del siglo XX, varios investigadores alertaron acerca de los efectos nocivos que podían tener las emanaciones y desechos de la industria, así como los plaguicidas y fertilizantes, sobre la salud del hombre y de otros seres vivos; pero no fue hasta 1962 que se produjo una denuncia coherente, basada en años de observación, y virtualmente irrefutable, en la obra de Rachel Carson *Primavera Silenciosa* que dio inicio al *movimiento ecologista*. Uno de sus primeros resultados fue la prohibición del uso del insecticida DDT en varios países.



**Rachel Louise Carson** (1907-1964). Bióloga y escritora estadounidense. Ya había ganado reconocimiento por sus estudios y obras de divulgación de biología marina, con un marcado sesgo ecológico, cuando publicó *Primavera Silenciosa* (1962), que -traducido a varios idiomas- se transformó en el libro de cabecera de toda una generación de ecologistas.

La comprensión del medio natural durante el siglo XX se apoya en dos concepciones científicas fundamentales: la *evolución de las especies* y la *ecología*. Ambas comparten, actualmente, un enfoque poblacional: los seres vivos existen en la naturaleza como *poblaciones* locales de individuos de una misma especie.

La *evolución de las especies* de seres vivos depende de la diversidad dentro de cada especie. Mientras más diversa sea una especie (más tipos diferentes de



Estas nueve especies de pinzones (de las 14 que existen en las Islas Galápagos) ilustran la diversidad de formas que pueden mostrar los picos para adaptarse a diferentes tipos de alimentación. Se estima que todas estas especies proceden de una sola especie suramericana.

mayores son sus posibilidades de adaptarse a los cambios en el medio donde subsiste. Estos cambios (en la cantidad y variedad de alimento, el clima, la presencia de otras especies, etc.) ejercen presiones ambientales que se expresan en la *selección natural* de los individuos que forman las poblaciones naturales de cada especie. La *selección natural* es el mecanismo fundamental de la evolución de las especies.

La *ecología* estudia las relaciones de los organismos con el medio circundante. Las relaciones básicas son de carácter *trófico*, es decir tienen que ver con la alimentación, y dan origen a una asociación característica de plantas, animales y microorganismos, compatible con otros factores (del suelo, el agua y el clima, sobre todo), vinculados, por lo general, con una formación vegetal determinada (un tipo de bosque, de pradera o de alga marina, por ejemplo). Esta asociación se considera como un sistema (conjunto de elementos interrelacionados), al cual se denomina *ecosistema*. Las poblaciones naturales son elementos de los ecosistemas. El conjunto de todos los ecosistemas de nuestro planeta forma la *biosfera*, que es la capa exterior de la Tierra donde existe la vida. Si se toma una pelota de baloncesto como modelo de la Tierra, la biosfera sería como una capa de polvo sobre su superficie. Esta comparación ayuda a formarnos una idea sobre la fragilidad de este sistema de sistemas vivos que es la biosfera.

De la biosfera, en su conjunto, depende la existencia de la vida en la Tierra. La biosfera es resultado de la adaptación de los seres vivos a las diferentes condiciones climáticas y geológicas de nuestro planeta. La propia actividad de los seres vivos (la producción de oxígeno por las plantas, por ejemplo) ha creado un

estado de equilibrio dinámico que el hombre no puede desconocer, ya que de él depende la existencia misma de la humanidad, como parte de la naturaleza que es.

Existe en la actualidad consenso respecto a que el hombre está alterando la naturaleza de manera tal que pone en peligro su propia existencia como especie. La contaminación de la atmósfera, el agua y los suelos por productos y desechos industriales; la elevación de la temperatura media de la atmósfera por las emisiones de dióxido de carbono y otros gases (que provocan el “efecto invernadero”) y por el propio calor que la producción industrial disipa (todo lo cual conduce al *calentamiento global*), así como la tala indiscriminada de los bosques para producir madera, o para extender la agricultura, las vías de comunicación y las zonas urbanas, pueden conducir a una situación catastrófica, a la desaparición de grandes ecosistemas y a la virtual destrucción del estado de equilibrio de la biosfera y, por ende, a la eliminación del hombre mismo.

Uno de los índices de los efectos perjudiciales de la actividad humana sobre la biosfera está relacionado con la disminución de la *biodiversidad*, es decir del número de especies de plantas y animales. Algunos autores consideran que la biosfera se enfrenta hoy a una crisis comparable a los períodos de extinción de especies por catástrofes geológicas que tuvieron lugar en un pasado remoto. De acuerdo con algunos estimados, anualmente desaparecen unas 27 000 especies de seres vivos, debido -principalmente- a la sobreexplotación y contaminación de la biosfera. Un informe de la Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza, publicado en 1998, reveló que una de cada ocho especies de plantas superiores del mundo se halla en peligro de extinción. Las consecuencias de la desaparición de cada una de estas especies serían, en su mayor parte, imprevisibles; si bien una consecuencia evidente es la depauperación de la biosfera y, por ende, de su capacidad de adaptarse a las condiciones cambiantes de la superficie del planeta, entre ellas las impuestas por la actividad humana.

Una de las causas más importantes de la extinción de especies debido a la actividad del hombre es la *deforestación*. Los esfuerzos de reforestación que se



hacen en muchos países palidecen ante la magnitud de la destrucción de los bosques tropicales húmedos (selvas) del planeta. A pesar de los esfuerzos de gobiernos y de organismos internacionales, el proceso de deforestación continúa a escala mundial. Se estima que la selva amazónica brasileña (*en la foto de la izquierda se observa la deforestación en esa selva causada por la construcción de carreteras –las líneas blancas, similares a una columna vertebral con espinas) se ha estado deforestando, durante los años noventa del siglo XX, a razón de 34 000 hectáreas (unas 2 500*

*caballerías) al año. Miles de especies han desaparecido ya, y con ellas las lenguas, culturas y a veces hasta los integrantes mismos de varias etnias indígenas que habitaban la zona.*

En 1984 se descubrió un *agujero en la capa de ozono* sobre la Antártida, y en 1995-1996 otro sobre el océano ártico. La capa de ozono protege al planeta contra la radiación ultravioleta del Sol. La disminución del espesor de esta capa puede afectar a plantas y animales, así como a los seres humanos (aumento en la incidencia de cáncer de la piel, de cataratas de los ojos y debilitamiento del sistema inmunitario). En 1987 se firmó una convención internacional para prohibir la distribución y eliminar la producción de los compuestos químicos a los cuales se atribuye la disminución de la capa de ozono; pero las disposiciones de esta convención –aunque ya han tenido un efecto favorable– se han cumplido con extrema lentitud.

Desde 1983, al menos, existe consenso entre los climatólogos de que la atmósfera del planeta se está recalentando más de lo previsto, como resultado del incremento constante de las emisiones de gases (sobre todo el CO<sub>2</sub>) por la industria y otras actividades humanas, lo cual refuerza el *efecto de invernadero* que dichos gases ejercen sobre la atmósfera. Como resultado de ello, se prevé que la temperatura media de la atmósfera, ya a principios del siglo XXI, será superior en alrededor de 2 grados centígrados a la de un siglo antes. Ello afectará los hielos de las zonas polares y provocará un gradual incremento del nivel de los mares, entre otros efectos.

La contaminación de las reservas de agua potable y la disminución de estas reservas son otros de los problemas ambientales que enfrenta la humanidad. Estas dificultades están indudablemente relacionadas con el aumento de la población humana del planeta que ya ha sobrepasado los 6 000 millones; pero también tienen que ver con los niveles de consumo de la población de diferentes países (los países desarrollados consumen mucho más que el resto), la adopción y aplicación de leyes conservacionistas y otros factores.

En los últimos años se ha difundido el concepto de *desarrollo sustentable* o *sostenible*. En lugar de las prédicas de detener el desarrollo económico, avanzadas por algunos autores y organizaciones en los años sesenta del siglo XX, para evitar el agotamiento de los recursos naturales se propone conjugar el desarrollo con la protección y el uso racional de dichos recursos. Existen muchas definiciones del desarrollo sustentable o sostenible. Una de ellas, propuesta por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, es la siguiente:

“El *desarrollo sustentable* es aquel desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Contiene dentro de sí dos conceptos clave: (1) el concepto de “necesidades”, en particular las necesidades esenciales de los pobres del mundo, a las cuales debe darse una prioridad absoluta; y (2) la idea de limitaciones impuestas por el estado de la tecnología y la organización social a la capacidad del medio ambiente de satisfacer las necesidades del presente y del futuro.”

### Los descubrimientos arqueológicos: culturas y civilizaciones desaparecidas.

Durante muchos siglos, las principales referencias que se tenían de las culturas de Egipto, el Cercano Oriente y el mar Egeo se hallaban únicamente en los textos bíblicos y en las obras de algunos escritores griegos. Los estudios de la civilización del antiguo Egipto adquirieron importancia ya en el siglo XIX, sobre todo a partir del desciframiento de la escritura jeroglífica egipcia, publicado en 1824 por *Jean François Champollion* (1790-1832); mientras que la arqueología se inició, como quehacer sistemático, con las excavaciones de *Heinrich Schliemann* (1822-1890) en Troya y Micenas, en los años setenta, y de *Flinders Petrie* (1853-1942) en Egipto, en los ochenta. En el siglo XX estos estudios alcanzaron un enorme desarrollo.



Ruinas del Palacio de Cnosos

Entre 1900 y 1906, el arqueólogo británico *Arthur John Evans* (1851-1941) descubrió y excavó en Cnosos, Creta, un enorme edificio (ocupaba 2 hectáreas) hoy conocido como el Palacio de Cnosos. Con ello se iniciaron las investigaciones de la *cultura minoica* o cretense, probablemente la más desarrollada de la “civilización Egea”, que incluía varias islas de ese mar (“cultura cicládica”) y las ciudades

continentales de Micenas, Tirinto y Troya (“cultura micénica”), entre otras. La cultura minoica existió del 2700 al 1450 a.n.e., aproximadamente. Entre los hallazgos de Evans en Creta se hallaban unas 3000 tablillas de barro con dos tipos diferentes de escritura: la más frecuente (llamada “lineal B”) fue descifrada por el criptógrafo inglés *Michael Ventris* (1922-1956) y corresponde a un dialecto griego arcaico, mientras la otra (“lineal A”), hallada también en inscripciones en otros sitios de la “civilización Egea”, no ha podido ser descifrada.

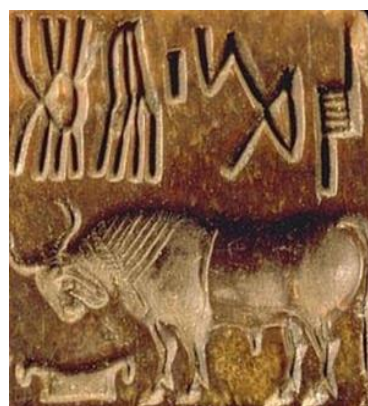
Las excavaciones en Mesopotamia, iniciadas -de manera muy parcial- en el siglo XIX, recibieron un gran impulso con los muy publicitados descubrimientos realizados en la ciudad sumeria de Ur por el arqueólogo inglés *Leonard Woolley* (1880-1960) en 1922-1934. El desciframiento, durante el siglo XIX, de la escritura cuneiforme de diferentes lenguajes, permitió ya en el siglo XX, la lectura de miles de tablillas de barro correspondientes a las culturas sumeria, elamita, babilonia y asiria

de la civilización mesopotámica, lo cual coadyuvó notablemente a la reconstrucción de la historia, los conocimientos y las costumbres de estas culturas.

La *cultura hitita*, de la cual sólo se conocían algunas referencias en la Biblia y en textos egipcios, fue descubierta en el siglo XX, gracias a las excavaciones realizadas a principios de siglo en Bogazkole (o Bogaz-Koey), en la actual Turquía, donde fue localizada la capital del imperio hitita. La escritura cuneiforme hitita fue descifrada en 1915 por el lingüista checo *Bedřich Hrozný* (1879-1952), quien demostró que los hititas hablaban un idioma indoeuropeo. La escritura jeroglífica hitita se descifró mucho después. Los hititas parecen haber desempeñado un papel importante en la difusión del hierro en el Cercano Oriente. Durante los siglos XVII al XV a.n.e., su estado fue un importante contendiente del imperio egipcio.

Sello con inscripción en la escritura, no descifrada aún, del Valle del Indo (aproximadamente 2600-1800 a.n.e.)

También han sido muy notables, y a veces espectaculares, los descubrimientos arqueológicos realizados durante el siglo XX en el Valle del Indo, en el actual Paquistán (las antiquísimas ciudades de Mohenjo-Daro y Harappa, en los años veinte), China (los miles de soldados de barro en la tumba del emperador del siglo III a.n.e., Ch'in Shih Huang Ti, descubiertos en 1975) y en el propio Egipto (por ejemplo, el de la tumba del faraón del siglo XIV a.n.e. Tut-Anj-Amun o "Tutankamen", realizado en 1922).



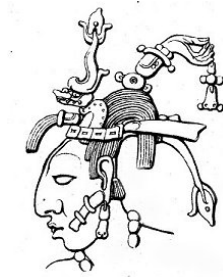
Algunos de los más relevantes estudios arqueológicos realizados durante el siglo XX tienen que ver con las civilizaciones y culturas de Mesoamérica y la región andina. Especial importancia revisten las investigaciones sobre la *civilización maya*, que existió desde Yucatán y el sur de México hasta Honduras y El Salvador, desde aproximadamente el 300 a.n.e. [hallazgos recientes parecen llevar esta fecha hasta el 1000 a.n.e.] y subsistió en Yucatán hasta la conquista hispana (aunque ya mezclada con otras culturas), pero tuvo su mayor esplendor en el llamado "período clásico" (300-900 de n.e.). La civilización maya alcanzó un gran desarrollo de la agricultura y la observación astronómica, entre otras áreas. Nunca constituyó un estado único (como el imperio inca o el azteca), sino constaba de ciudades-estados, independientes, a menudo enfrentadas unas a otras.



Fragmento del códice maya llamado "matritense", con muestra de escritura.

La casi totalidad de los documentos originales escritos por los mayas fueron destruidos por los conquistadores hispanos. Sólo han sobrevivido 4 códices (libros plegados), y el desciframiento de la escritura maya ha tenido que basarse en ellos y en las inscripciones halladas en pirámides, templos y estelas. Uno de los mayores estudiosos de la civilización maya fue el arqueólogo británico *John Eric S. Thompson* (1898-1975), quien realizó aportes notables al conocimiento de estas culturas, en especial en cuanto al estudio del calendario y de los signos numéricos. Sin embargo, Thompson y otros

investigadores no creían que los mayas hubieran avanzado hasta la invención de la escritura fonética. Pero estaban equivocados: en 1952 el lingüista ruso *Yuri V. Knorozov* (1922-1999) descifró la escritura maya como una combinación de signos logográficos (palabras completas) y fonético-silábicos. Desde los años setenta, cuando la labor de este investigador comenzó a ser reconocida, se ha logrado leer un buen número de textos mayas.



Pacal II, llamado por los arqueólogos “el Grande”, rey de Palenque (retrato tomado del relieve de su tumba)

Singular importancia tuvo el descubrimiento, en las ruinas de Palenque (estado de Chiapas, México), en 1952, de la primera tumba en una pirámide maya por el arqueólogo franco-mexicano, de ascendencia cubana, *Alberto Ruz Lhuiller* (1906-1979). El sarcófago estaba cubierto por una pesada losa, con relieves e inscripciones, la mayor de su tipo hallada en América. Como se sabe hoy, gracias a la lectura de las inscripciones, el personaje allí enterrado fue un importante monarca de la ciudad maya de Palenque. Su nombre era Pacal (“Escudo”, el segundo rey de Palenque en llevar este nombre) y reinó en el siglo VII de n.e. Hasta este descubrimiento se pensaba que las pirámides mayas eran templos, pero no monumentos funerarios. Desde entonces se han descubierto varios enterramientos más en pirámides de esta civilización. También, gracias a la posibilidad de leer las inscripciones, se ha logrado reconstruir las listas de gobernantes de Palenque, Tikal y otras ciudades mayas.

Las excavaciones realizadas desde 1989 en una aldea de cultura maya enterrada alrededor del año 600 de n.e. bajo las cenizas de un volcán en Joya de Cerén (actual República de El Salvador), y -por ende- excepcionalmente preservada, han mostrado -para asombro de los arqueólogos- que la población indígena en aquella época tenía mejores viviendas y más posesiones duraderas (diferentes utensilios) que las que tiene actualmente.

El fin del apogeo del período clásico de la civilización maya, alrededor del 900 de n.e., con el abandono de las ciudades mayas de Guatemala y Chiapas (México), entre otras zonas, ha sido objeto de mucha especulación. Todavía no se conocen con certeza las causas de esta crisis; pero varios estudios, entre ellos algunos recientes, han demostrado que, durante siglos, una población rural relativamente abundante siguió habitando las inmediaciones de algunos de estos sitios. En algunos casos, estos pobladores siguen existiendo hasta hoy, y continúan hablando alguno de los idiomas del grupo de las lenguas mayas.

También durante el siglo XX se definió la que –según consideran muchos autores– es la más antigua cultura urbana que hubo en México, antecesora de los mayas, la *cultura olmeca*, en la zona sur de Veracruz y en Tabasco, en la costa del Golfo de México. Su gran centro ceremonial de La Venta ha sido estudiado detalladamente, aunque no se ha penetrado en los restos de las pirámides de adobe que allí existen. La cultura olmeca tuvo su apogeo alrededor del siglo VIII a.n.e. También antecedió al período clásico de la civilización maya la antigua *cultura zapoteca*, cuyo gran centro ceremonial en Monte Albán, en el valle de Oaxaca, cerca de la costa mejicana del Pacífico, fue descubierto y desenterrado por arqueólogos mejicanos en el siglo XX. Corresponde al siglo V a.n.e.



Pirámides en Caral, la más antigua ciudad de América

También en Perú se han realizado importantes descubrimientos arqueológicos, como los de las tumbas de los Señores de Sipán (halladas en 1987 y 1990), riquísimos enterramientos de la *cultura Moche*, que floreció en la costa noroeste de Perú entre los siglos II y IX de nuestra era. Desde 1996 se realizan excavaciones sistemáticas en *Caral*, en el valle de Supe, a 200 km al norte de Lima, Perú, y a unos 23 km de la costa del Pacífico,

de una ciudad que, hasta ahora, es la más antigua de América (sus orígenes datan de entre 2000 y 1600 años a.n.e.). La *cultura Supe*, con centro en Caral, practicaba una agricultura con irrigación, pero carecía de industria ceramista. En las ruinas de esta antiquísima urbe se han hallado los más antiguos *quipus* conocidos.

Los quipus –que se convirtieron siglos más tarde en un dispositivo emblemático del imperio incaico– constan de una soga a la que están atadas cuerdas de distintos tipos, en las cuales, siguiendo una determinada codificación, por medio de nudos (forma, posición, color), se llevaban registros cuantitativos de diferente índole.

Los estudios realizados en América, tanto por investigadores del continente (en especial los mejicanos, peruanos y estadounidenses), como por europeos, han contribuido notablemente al desarrollo de nuevas técnicas de excavación y de interpretación, pero sobre todo a la combinación de métodos (físicos, lingüísticos, de epigrafía comparada, antropológicos, entre otros) que caracteriza hoy a la arqueología.





## 12. BIBLIOGRAFÍA

- Altshuler, José (1983): **Excursión a la Electrónica**. Editorial Científico-Técnica, La Habana.
- Calder, Nigel, and Stephen F. Pollard (1993): **Einstein's Universe: A Guide to the Theory of Relativity**. Viking Press, Nueva York.
- Clark, William R. (1995): **At War Within: The Double-Edged Sword of Immunity**. Oxford University Press, Oxford y Nueva York.
- Coe, Michael D. (1993): **The Maya**. Thames and Hudson, Nueva York.
- Dorfman, R. y P. P. Rogers (1997): **Science with a Human Face**. Harvard Institute for International Development.
- Encarta Encyclopedia De Luxe 2000**. Microsoft Corporation, Seattle, 1999.
- Giscard d'Estaing, Valerie A. y Mark Young (1993): **Inventions and Discoveries**. Facts on File, Nueva York.
- Galiana Míngot, Tomás de (1988): **Pequeño Larousse de Ciencias y Técnicas**. Editorial Científico-Técnica, La Habana.
- Hecht, Jeff y Dick Teresi (1984). **Laser: Supertool of the 1980s**. Ticknor and Fields, Londres.
- Kidwell, Peggy A. y Paul E. Ceruzzi (1994): **Landmarks in Digital Computing**. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.
- Ochoa, George y Melinda Corey (1995): **A Timeline Book of Science**. Ballantine Books, Nueva York.
- Lopez, Don S. (1995): **Aviation**. Macmillan, Nueva York.
- Lyons, A.S. y R.J Petrucelli. (1987): **Medicine. An Illustrated History**. Abrams, Nueva York.
- Rhodes, Richard (1995): **The Making of the Atomic Bomb**. Simon & Schuster, Nueva York.
- Smith, Anthony y Richard Paterson (Eds.) (1998): **Television: An International History**. Oxford University Press, Oxford y Nueva York.
- Wilson, E.O. (Ed.) (1988): **Biodiversity**. National Academy Press, Washington, D.C.
- Winter, Frank H. (1990): **Rockets into Space**. Harvard University Press, Cambridge.
- Worster, Donald (1994): **Nature's Economy: A History of Ecological Ideas**. 2da ed. Cambridge University Press, Cambridge.
- Yount, Lisa (1997): **Genetics and Genetic Engineering**. Facts on File, Nueva York.
- Климишин, И. А. (1981): **Календарь и хронология**. Наука, Москва.
- Прохоров, Ю. В. (Гл. Ред.) (1988): **Математический энциклопедический словарь**. Советская Энциклопедия, Москва.
- Фолта, Я. и Л. Новы (1987): **История естествознания в датах**. Прогресс, Москва.