

CAPÍTULO II

CIENCIAS, TECNOLOGÍAS, TÉCNICAS

1. Matemáticas	23
2. Astronomía, cosmología y exploración del espacio	23
3. Física	29
4. Energía nuclear	31

CAPÍTULO II

CIENCIAS, TECNOLOGÍAS, TÉCNICAS

1. MATEMÁTICAS

Las Matemáticas del siglo XX han exhibido dos grandes orientaciones: una tiende a la generalización y abstracción crecientes; v. gr. las investigaciones sobre los fundamentos de las matemáticas (David Hilbert, Bertrand Russell y Alfred North Whitehead, Kurt Gödel). La otra tiende a las aplicaciones concretas, en otras áreas como Lingüística, Ciencias Sociales (Teoría de los Juegos), Computación, Energía Nuclear (John von Neumann, Norbert Wiener).

Después de la Segunda Guerra Mundial, mucho de las Matemáticas se vuelve crecientemente abstracto, dificultando o impidiendo a los no matemáticos seguir los resultados. Se logran, por una parte, pruebas para problemas y conjeturas de larga data; y por la otra se desarrollan fructíferos nuevos conceptos que son usados para resolver una gama de problemas, como la teoría de las catástrofes (René Thom),¹ la teoría de los atractores extraños, teoría fractal (Benoit Mandelbrot).

2. ASTRONOMÍA, COSMOLOGÍA Y EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

La más antigua de las ciencias puras, la *Astronomía*, estudia los movimientos y las naturalezas de los cuerpos celestes (planetas, estrellas, galaxias) y, más generalmente, la materia y la energía en el universo en su conjunto. La *Cosmología* busca una teoría comprensiva

¹ Sobre la teoría de las catástrofes y del caos, y sus proyecciones en las ciencias físico-naturales y sociales, ver Ervin Laszlo, *La gran bifurcación*, Barcelona, Editorial Gedisa, 1990; *The New Evolutionary Paradigm*, editado por Ervin Laszlo, New York, Gordon and Breach Science Publishers, 1991; Georges Balandier, *El desorden - La teoría del caos y las ciencias sociales*, Barcelona, Editorial Gedisa, 1990.

de la creación, evolución y estructura actual de todo el universo, y tiene en los sistemas de Tolomeo y Copérnico dos de sus más descollantes manifestaciones y logros.

La Astronomía se va revolucionando desde la segunda mitad del siglo XIX por las técnicas basadas en la *fotografía* y en el *espectroscopio*. El desarrollo de la fotografía de placas secas, que permite largos tiempos de exposición, ofrece un método de registro de imágenes mucho más sensitivo que los dibujos hechos a partir de observaciones visuales por anteriores investigadores. El espectroscopio es un instrumento óptico para producir líneas espectrales y medir sus longitudes de onda e intensidades. El estudio espectroscópico de la luz de las estrellas por diferentes instrumentos ha proporcionado información sobre la temperatura y la composición química de estrellas, movimientos estelares y campos magnéticos.

Al continuo progreso de la astronomía óptica se ha ido agregando el desplazamiento de los investigadores, de la determinación de las posiciones y distancias de las estrellas, al estudio de su composición física y de la evolución estelar en sus diferentes fases. El interés se ha extendido más recientemente a las longitudes de onda fuera del espectro visible, a la emisión de radiaciones desde el espacio: gamma, ultravioleta, de rayos X, a su investigación mediante el uso de radioastronomía y de satélites artificiales equipados con telescopio.

Harlow Shapley (1885-1972) astrónomo norteamericano determina el tamaño y la forma de nuestra galaxia, la Vía Láctea, así como la posición de su centro y del sol dentro de aquélla.

Edwin Powell Hubble (1889-1953), astrónomo norteamericano, descubre que existen grandes galaxias más allá de la Vía Láctea, distribuidas casi uniformemente en todas las direcciones. La *Ley de Hubble* (1929) establece que, cuanto mayor sea la distancia entre dos galaxias, mayor será su velocidad relativa de separación o, en otras palabras, que el universo se expande de manera más o menos uniforme. Este hallazgo empírico es más consonante con la teoría del *Big Bang* sobre el origen del universo que con la teoría del estado firme; primera evidencia surgida de la observación en favor de la teoría del universo en expansión.

Todas las ramas y fases de la Astronomía han ido avanzando continuamente desde la Segunda Guerra Mundial. En la década de 1940 el telescopio Hale es puesto en operación en el observatorio de Monte Palomar (California), el mejor del mundo hasta los años de 1990.

En la década de 1950, la exploración del universo avanza con la *Radioastronomía*, el estudio de los cuerpos celestes por medio de las

ondas de radio que emiten y absorben naturalmente, y que son recibidas por antenas especialmente construidas, llamadas *radiotelescopios*. Las señales de radio recibidas del espacio exterior son extremadamente débiles, y requieren largas observaciones para reunir una cantidad útil de energía. Existen varios tipos básicos de radioemisiones galácticas y extragalácticas. Por otros medios que la Radioastronomía, se comprueba que el universo es de tamaño doble de lo pensado por los científicos.

Con la construcción de *observatorios* cada vez más poderosos, mejor equipados para captar y registrar fenómenos astronómicos, y luego con la tecnología de y para la exploración del espacio, los límites tanto de la Astronomía y de la Cosmología, como del universo conocido, se han ido ampliando constantemente.

La década de 1960 presencia las primeras exploraciones del espacio cercano con satélites y *sondas espaciales*, y el sorprendente descubrimiento de los cuasares y pulsares.

El *satélite artificial* es un objeto lanzado por un *cohete* a la órbita alrededor de la tierra u, ocasionalmente, a otro cuerpo del sistema solar, ya sea en una órbita circular, ya como geoestacionario en el plano ecuatorial, y para diferentes fines (comunicaciones, navegación, reconocimiento, clima, ciencia, espionaje, defensa y ataque).

La *sonda espacial* es un vehículo no tripulado, portador de instrumentación refinada, diseñado para explorar varios aspectos del sistema solar, con suficiente energía para escapar al campo gravitacional de la tierra y navegar entre planetas. El contacto por radio entre la estación de control en la tierra y la sonda espacial proporciona el canal de transmisión de los datos registrados por los instrumentos a bordo hacia la tierra. Una sonda espacial puede ser dirigida a ponerse en órbita alrededor de un planeta, a realizar el aterrizaje suave de paquetes de instrumentos en la superficie de un planeta, o a volar cerca de uno o más planetas o satélites naturales.

Los logros en el estudio de las radiaciones por la Radioastronomía ha permitido la identificación de cuasares y pulsares.

El *quasar* u *objeto cuasiestelar*, es un tipo de objeto celeste, con apariencia de estrella, hoy considerado como uno de los objetos más distantes y luminosos en el universo, que parece irse alejando de nuestra galaxia con velocidades tan grandes como el 80% de la velocidad de la luz, que en muchos casos los colocan más allá del alcance de la visibilidad.

El *pulsar* es un objeto celeste que emite breves y agudas pulsaciones de ondas de radio, de gran velocidad. Su existencia sugiere casos de gigantescas fuerzas gravitacionales que podrían causar el colapso de un

gran cuerpo de materia en un estado extremadamente comprimido, denso de neutrones, incluso con fases en que el campo gravitacional se vuelve demasiado poderoso para dejar escapar a la luz. Su existencia plantea el interrogante en cuanto a las leyes aplicables a estos agujeros negros del universo.

En los años de 1950 la opinión científica sobre la evolución del universo se divide entre dos grandes hipótesis, para dar lugar en las décadas siguientes a una creciente definición favorable a una de ellas. En la década de 1960 se vuelve dominante la teoría del *Big Bang*. Ella sostiene que toda la materia y energía en el universo estuvieron concentradas en un volumen muy pequeño que explotó entre 10 y 20 billones de años atrás, y que la expansión resultante continúa hoy. Esta teoría se va volviendo dominante con la disponibilidad de nuevas evidencias. En cambio, otra teoría, hoy con menos adherentes, la del *estado constante*, hipotetiza que el universo se expande, pero con la continua creación de nueva materia en todos los puntos del espacio, abandonada por las galaxias en retroceso.

En los años de 1970, la Física Teórica y la Astronomía se van acercando cada vez más, para una convergencia en la Astrofísica. Se desarrolla el interés por los *agujeros negros*, objetos tan masivos y densos, resultantes de un *colapso gravitacional*, que nada, ni siquiera la luz, puede escapar de su inmediata ubicación como resultado de sus inmensas fuerzas gravitacionales. En los años de 1980, se agregan los telescopios infrarrojos basados en el espacio para el logro de más conocimientos sobre el universo. El navío espacial Voyager extiende el conocimiento más cercano del sistema solar a los planetas más lejanos, y contribuye al descubrimiento de planetas u otros objetos en la órbita de estrellas (de nubes de partículas a *enanos pardos*, *i. e.*, objetos más grandes que los planetas y más pequeños que las estrellas).

La *exploración* y la *investigación* de las condiciones físicas en el espacio y en las estrellas, planetas y satélites naturales, mediante una *tecnología* totalmente nueva (cohetes, satélites artificiales, sondas, navíos tripulados), han sido precedidas por los descubrimientos y las acumulaciones de datos desde la tierra (telescopios ópticos y de radio), y por los primeras investigaciones sobre cohetes.

El *cohete* parece haber sido inventado en China hacia el 1000 d.C. El uso astronáutico de cohetes fue racionalmente propuesto y persuasivamente defendido a principios del siglo XX, por el ruso Konstantin E. Stiolkovsky, el norteamericano Roberto H. Coddard, que lanza el primer cohete de combustible líquido en 1926, el alemán Hermann Oberth. Durante la Segunda Guerra Mundial, un equipo alemán dirigido

por Wernher von Braun desarrolla el cohete V-2, misil guiado de largo alcance. Después de la guerra, la investigación sobre cohetes en los Estados Unidos y la URSS se intensifica, lleva al desarrollo de la gama de misiles balísticos intercontinentales y de los cohetes lanzadores de aparatos espaciales. El desarrollo de poderosos *cohetes* posibilita tecnológicamente la exploración directa del espacio.

Desde 1957, cuando el primer satélite artificial es puesto en órbita alrededor de la tierra por la Unión Soviética, la nueva tecnología espacial se agrega a la panoplia de instrumentos científicos, primero con vehículos no tripulados. Pequeñas sondas espaciales alcanzan Venus, la Luna, Marte, o pasan junto a Mercurio, Júpiter, Saturno, Urano y el Cometa Halley; captan cinturones de radiación alrededor de la tierra, el viento solar, gigantescos campos magnéticos en el espacio.

Los vuelos espaciales tripulados han ido progresando de lo simple a lo complejo, han comenzado con vuelos suborbitales y orbitales por un *astronauta* o *cosmonauta* único (Mercury y Vostok). Se ha lanzado luego tripulaciones de varios miembros en una cápsula única (los primeros Gemini y Voskhod), contactos y acoplamientos (Gemini, Apollo-Soyuz Test Program), orbitación y aterrizaje lunares, lanzamiento de un vehículo espacial re-usable, el *shuttle* espacial.

El *Space Shuttle* es un navío espacial norteamericano que, a diferencia del vehículo tripulado que se usara en previos programas espaciales de los Estados Unidos (Mercury, Gemini, Apollo), administrados por la NASA, puede aterrizar en una pista y volver a ser usado en subsiguientes misiones al espacio. Se le desarrolló, no sólo para la exploración y la experimentación espaciales, sino también como empresa comercial (pago de compañías privadas de comunicaciones a la NASA para llevar sus satélites de telecomunicaciones al espacio a bordo del *shuttle*), y para misiones militares secretas (prueba de componentes para el Strategic Defense Initiative Program). Desde el primer *shuttle*, *Columbia*, lanzado en 1981, se realizaron otras 23 misiones exitosas, en cuatro *shuttles* espaciales, hasta la número 25 que fracasa trágicamente. El programa fue retomado en 1988, con el lanzamiento del *Discovery*.

Los vuelos espaciales se vuelven el foco de gran parte de los programas espaciales de las dos superpotencias. El programa de los Estados Unidos se concentra primero en la colocación de hombres en la Luna, que se realiza en 1969, con algunos otros vuelos más, y luego el abandono del proyecto. Más tarde, el programa de los Estados Unidos se concentra en las posibilidades de uso de un vehículo espacial como de un avión. El programa de *shuttle* espacial es cerrado por algunos

años como resultado del accidente del *Challenger* (explosión y muerte de la tripulación).

La Unión Soviética desarrolla un programa tripulado para el establecimiento de una estación orbital permanente alrededor de la Tierra; muchos cosmonautas soviéticos pasan meses en el espacio. También los Estados Unidos planean una estación espacial.

La carrera espacial introduce cambios significativos en la división del trabajo dentro del Estado y de la sociedad, ante todo en lo que se refiere al aparato burocrático. En los Estados Unidos produce en 1958 la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), agencia gubernamental que supervisa la aeronáutica avanzada, los vuelos espaciales (lunares, planetarios, interplanetarios), las sondas, cohetes y satélites. La NASA tiene su cuartel general en Washington, D.C., 10 principales instalaciones, un personal de 21,000 científicos, ingenieros y técnicos.

La *tecnología espacial* ofrece un balance complejo y debatible en cuanto a sus beneficios y perjuicios. Los satélites de comunicaciones contribuyen a los procesos de integración mundial y de globalización apuntada a la emergencia de la “aldea global”. Diversos tipos de satélites especializados permiten previsiones climáticas de cinco días e informa a los científicos sobre cambios en la atmósfera; captan cambios en bosques y cosechas, y la existencia de depósitos minerales y otros recursos naturales; informan a barcos y aviones, y a personas perdidas o heridas y abandonadas.

Emerge la *Medicina Espacial*, también llamada *Bioastronáutica*, clasificada como rama médica separada desde principios de los años 1960, que estudia los efectos médicos y biológicos de los viajes espaciales sobre organismos vivientes, ante todo en el Aerospace Medical Center (San Antonio, Texas).

Refinadas pruebas, exámenes y entrenamientos son provistos por especialistas a los astronautas, de modo que correspondan a las condiciones y problemas que puede encontrarse en el espacio. Se trata de descubrir cuánto y por cuánto tiempo los seres humanos pueden soportar las condiciones encontradas en el espacio, y de estudiar su capacidad para readaptarse al medio ambiente terrestre después del viaje espacial. Se estudian en especial aspectos como las reacciones humanas a la aceleración, la ingravidez, la inercia, la exposición a la radiación cósmica, la ausencia del ciclo día/noche, el calor en el interior del navío. Los astronautas portadores de instrumentos registran sus ondas cerebrales, su respiración y su presión sanguínea, y otros datos necesarios para la preparación de futuros vuelos espaciales. Los especialistas en la

medicina espacial han desarrollado sistemas personales de apoyo a la vida, que proveen a los astronautas con alimento, oxígeno y agua, de modo que puedan realizar “paseos espaciales” fuera de la seguridad de la cápsula. Problemas pendientes son el manejo de la enfermedad en el espacio, los modos de provisión de ejercicio y entretenimiento necesarios para la salud mental en los largos viajes espaciales.

A la inversa, la tecnología espacial es inseparable del uso que las fuerzas militares de ambas superpotencias, y eventualmente de otros países desarrollados, pueden hacer para el espionaje, y para el transporte y lanzamiento de bombas nucleares.²

Las actuales y posibles competencias, rivalidades y conflictos en relación al espacio ya han dado origen a un *Derecho Espacial*, como conjunto de principios y normas tendentes a regir la exploración y uso del espacio exterior. El Tratado del Espacio Exterior de 1967, firmado por la mayor parte de las naciones, estatuye que el Derecho Internacional se aplica al espacio exterior, y que mientras todos los Estados pueden explorar y usar libremente el espacio exterior, las reclamaciones territoriales en el espacio están prohibidas. Otros tratados, que se refieren al rescate y regreso de astronautas, la responsabilidad por daños causados por objetos espaciales, y el registro de objetos, han ido volviéndose efectivos respectivamente en 1968, 1972 y 1976. Un tratado sobre el uso potencial de los recursos de la Luna, preparado por las Naciones Unidas en 1979, ha sido firmado por varias naciones.

3. FÍSICA

Gran parte de la Física moderna se ha preocupado con la conducta de la materia y la energía bajo condiciones extremas (Física de Baja Temperatura) o con los fenómenos de muy pequeña escala (Física de las Partículas Elementales, Física Nuclear). En la muy pequeña escala y para objetos en rápido movimiento, las nociones ordinarias y de sentido común de espacio, tiempo, materia y energía han dejado de ser válidas. Dos principales teorías de la Física Moderna han dado un cuadro de aquellos conceptos que difiere en mucho de la Física clásica.

La *Teoría de los Quanta* se preocupa más por la naturaleza discreta que por la continua de muchos fenómenos a los niveles atómico y subatómico, y por los aspectos complementarios de las partículas y

² William E. Burrows, *Deep Black - The Startling Truth Behind America's Top-Secret Spy Satellites*, New York, Berkley Books 1988.

ondas en la descripción de tales fenómenos. La *Teoría de la Relatividad* se preocupa por la descripción de los fenómenos que tienen lugar dentro de un marco de referencia que está en movimiento respecto a un observador.

Desde la Segunda Guerra Mundial y en la primera posguerra la Física mantiene e incrementa su importancia crucial en cuestiones militares, y logra con ello mantener el financiamiento para grandes proyectos de investigación, especialmente en Física Nuclear (*cf. infra*) y de las Partículas. Más tarde, los gobiernos perciben la importancia de la *Física del Estado Sólido*, y de la emergente *Ciencia de los Materiales* (*cf. infra*) para ellos mismos y para las economías nacionales, sobre todo con los avances en el transistor, el laser, la superconductividad de alta temperatura.

La *Física del Estado Sólido* estudia las propiedades presentadas por los átomos a causa de su asociación y del ordenamiento regular y periódico en *cristales*. Una de las más importantes propiedades de los sólidos, además de las mecánicas y térmicas, es la conductividad eléctrica. Los metales son altamente conductores y ofrecen poca resistencia a las corrientes eléctricas. La mayoría de los sólidos no metálicos son aislantes, ofrecen una resistencia virtualmente infinita a las corrientes eléctricas. Los *semiconductores*, sólidos cuya conductividad eléctrica a la temperatura del cuarto se ubica entre la de un conductor y la de un aislante, que poseen una conductividad eléctrica ni muy alta ni muy baja, son usados en los *transistores*.

Las crecientes pruebas de la cantidad y calidad de descubrimientos, invenciones y desarrollos que trae consigo la Física explican la disponibilidad de grandes financiamientos que contribuyen decisivamente al notable desarrollo de aquélla en la posguerra.

El descubrimiento del *Lamb Shift* (1947) lleva a la solución de problemas matemáticos surgidos en el estudio de átomos y partículas subatómicas, y resulta en la *Quantum Electrodynamics (QED)*, considerada la más exacta teoría en la Física.

Al mismo tiempo, con el estudio de rayos cósmicos se encuentran nuevas partículas subatómicas que no se comportan de acuerdo a las predicciones. Su conducta es bautizada como *Strangeness*. Ésta y extrañas partículas descubiertas son integradas en un esquema clasificatorio, llamado *eightfold way*, que permite la predicción respecto de entidades hasta entonces no descubiertas (*v. gr.*, la partícula omega-minus, 1964). El *eightfold way* es desarrollado por Murray Gell-Mann, primero sobre la base de matemáticas abstractas, no de una comprensión física sobre como debe operar. Con la confirmación empírica, Gell-

Mann propone su explicación física, el *modelo quark*. De acuerdo a éste, la mayor parte de las partículas son combinaciones de otras llamadas *quarks*, que tienen cargas fraccionales.

El estudio de las partículas extrañas lleva también a explicar por qué algunas partículas decaen de maneras que violan teorías prevalecientes, por la distinción que en ciertos casos hace la naturaleza entre derecha e izquierda. Con similares ideas que constituyen una rama de las matemáticas llamada Teoría de Grupos, se explican las partículas dejadas fuera del modelo *quark*, v. gr. la *teoría de lo electrodébil*. A partir de ésta se intenta unificar la fuerza electrodébil y la fuerte en una *Gran Teoría Unificada* (GUT).

Los avances de la Física han dado lugar a desarrollos tecnológicos de alta significación, ya sea para ciertos problemas, ya de importancia generalizada con incidencia en muchos campos diferentes. Entre ellos destacan: el laser, los instrumentos y dispositivos electrónicos de estado sólido o microprocesadores con creciente variedad de usos (transistor, radios miniaturizadas, televisión, automovil, aparatos domésticos), las computadoras digitales (*cf. infra*).

4. ENERGÍA NUCLEAR

La *energía nuclear* es un descubrimiento reciente que está en el origen de una verdadera revolución científica, trastornadora de leyes sólidamente establecidas en la Física y la Química. En la primera mitad del siglo XX se va descubriendo que, por la fisión de un núcleo de materia o por la fusión de dos núcleos, se puede desprender una energía incomparablemente más potente que todas las previamente conocidas. A partir de la ecuación de 1905 de Albert Einstein, $E=mc^2$, se replantea el principio de la conservación de la materia, dándose nacimiento a una nueva rama de la ciencia, la Física Nuclear. Se va comprendiendo mejor la composición y las propiedades de la materia en lo infinitamente pequeño, pasando progresivamente de la ciencia pura a la experimentación, para reunir las condiciones de desintegración de la materia que produzca energía. La secuencia fundamental en este respecto es: James Chadwick, 1932; Enrico Fermi, 1942; Hiroshima y Nagasaki, 1945; primer reactor nuclear de gran tamaño en Estados Unidos, 1953.³

3 Jean-Pierre Angelier, "Le nucléaire: Révolution scientifique mais...", *Supplément aux Cahiers Français*, París, num. 223, *Mutations Technologiques et Formations*, octubre-diciembre, 1985.

Desde sus orígenes en la ciencia pura, hasta sus realizaciones técnicas, militares y productivas, la industria nuclear se basa en una extrema e inédita complejidad científica, técnica y humana-social. Ella se manifiesta en los dominios involucrados del saber qué y del saber cómo, cada uno de ellos objeto de una rama o disciplina científica y técnica. Entre ellas, y sin enumeración exhaustiva, se cuentan: física nuclear, física atómica; minería; metalurgias; resistencia de materiales; mecánica de fluidos; termodinámica; protección radioactiva; mecánica; industria del cemento; industria de la producción de energía propiamente dicha (turbinas, alternadores, sistemas de distribución). A ello cabe agregar la biología (efectos de radiaciones, absorciones, reconcentración); ecología; medicina; climatología; hidrología (dispersión de efluentes líquidos y gaseosos). El número y diversidad de las disciplinas implicadas apenas ha permitido a los técnicos la captación global y el dominio de los problemas tecnológicos pendientes.

La producción de energía de origen nuclear se realiza en centrales eléctricas cuya fuente de calor es una pila atómica. El calor de la pila atómica proviene de la energía desprendida por la transformación de ciertos átomos en otros (fisión, fusión).

El uranio es el cuerpo natural más pesado, y el más susceptible de romperse para desprender energía nuclear de fisión. Es utilizado como combustible para toda la energía nuclear de uso civil producida en el mundo. Dos isótopos (dos cuerpos que tienen las mismas propiedades químicas, pero una masa diferente) componen el uranio natural: el uranio 235 y el uranio 238. El uranio 235 es fisible: golpeado por un neutrón, se rompe en dos núcleos más pequeños y desprende calor y neutrones. El uranio 235 representa 0,7% del uranio natural. El uranio 238 es fértil: golpeado por un neutrón, lo absorbe y se transforma en plutonio 239, cuerpo fisible. El uranio natural está constituido en un 99,3% por uranio 238.

Cuando un neutrón golpea un átomo de uranio 235, éste se rompe y libera en promedio 2,5 neutrones. Estos últimos o bien se pierden en la naturaleza que rodea al combustible, o bien son absorbidos por el uranio 238; o bien golpean y rompen otro núcleo fisible [...] que desprende a su vez 2,5 neutrones, y el proceso recomienza: es [...] una reacción en cadena.

En la naturaleza, cuando esta reacción en cadena se desencadena espontáneamente, se extingue por sí misma. En una bomba atómica, algunos mecanismos son puestos en operación para que la reacción se acelere: los 2,5 neutrones liberados vienen a romper más de un núcleo fisible en cada generación, lo que desprende una cantidad rápidamente

creciente de neutrones y de energía, y lleva a una formidable explosión. *En un reactor nuclear*, son puestos en operación mecanismos para que la reacción se mantenga en lo idéntico: a cada emisión de 2,5 neutrones, uno solo vendrá a romper un nuevo núcleo fisible que emitirá a su vez 2,5 neutrones, y así en adelante; el desprendimiento de energía obtenido será así constante, regular. En un reactor, todo está hecho para que, en caso de incidente (alza excesiva de la temperatura), la reacción en cadena se extinga por sí misma.

La reacción de fisión en cadena del uranio está bien dominada industrialmente, y la producción de energía así realizada es importante: *la desintegración de un gramo de uranio desprende tanta energía como la combustión de tres toneladas de carbón.*

Otra manera de producir energía nuclear es *llevar dos núcleos a soldarse entre sí.* Con ello, pierden una parte de su masa que se transforma así una vez más en energía, en cantidades enormes. *Es la energía nuclear de fusión.* El hidrógeno, el cuerpo más ligero encontrado en la naturaleza, es usado para realizar esta reacción de fusión; más precisamente, se busca fusionar dos isótopos del hidrógeno, el deuterio y el tritio.

Pero importantes obstáculos se oponen todavía a la producción de la energía de fusión. En particular, se requiere una *temperatura extremadamente elevada para hacer fusionar dos átomos de hidrógeno:* del orden de los 100 millones de grados centígrados; cuando las temperaturas obtenidas en la tierra no pasan los 5,000° C. *Hasta hoy, la fusión no ha sido realizada más que en las bombas termonucleares (“de hidrógeno”), en las que la temperatura de fusión se obtiene gracias a una explosión nuclear de fisión.* Pero el hombre todavía no es capaz de domesticar esta energía nuclear de fusión. *Las investigaciones por este camino prosiguen en diferentes laboratorios de América del Norte, Europa y Japón. Pero no se puede esperar producir energía de fusión antes del 2050. E incluso nadie puede afirmar que estas investigaciones desembocarán en un éxito.*⁴

La energía nuclear se origina como hija de la bomba atómica y, por lo tanto, del Estado y su lógica estratégico-militar. La Segunda Guerra Mundial ha permitido el dominio y la puesta en operación de la tecnología nuclear. Una necesidad militar conduce a las inversiones financieras, materiales y humanas, de amplitud desigual, del Proyecto Manhattan. El ejército norteamericano ha sido, en el origen, la única institución capaz de tomar a su cargo una tecnología nueva de complejidad sin precedentes. La imputación a los presupuestos militares, no a los programas civiles, de las fantásticas sumas consagradas por décadas

4 Jean-Pierre Angelier, “Le nucléaire...”, *cit.*

al dominio de las técnicas nucleares (separación, enriquecimiento, re-tratamiento, de materiales fisibles), ha permitido que el precio económico de la energía nuclear haya sido muy inferior a sus estimaciones actuales.⁵

Después de la utilización militar de la energía nuclear a partir de 1945, su producción se ha ido desarrollando rápidamente, sobre todo desde los años de 1970. Este desarrollo se ha dado además en el marco de una creciente polémica al respecto, cuyos polos o ejes primordiales se refieren a la capacidad o incapacidad de la energía nuclear para introducir modificaciones radicales en los modos de producción y de existencia; al papel de lo nuclear en la rejerarquización de las opciones energéticas; a su peso en las economías nacionales y en la mundial; a la inocuidad o peligro de su uso, y a las implicaciones sobre modelos alternativos de sociedad y sistema político.

En la década de 1950 se da una fase de *esperanzas eufóricas* respecto a la energía nuclear, de sobrestimación de sus posibilidades y alcances, y de subestimación de las coacciones económicas y políticas y de los conflictos y antagonismos de todo tipo que condicionan o determinan el desarrollo de aquélla. Expresión notable de esta fase es la Conferencia Internacional de Ginebra de 1955, que reúne a varios centenares de científicos de todo el mundo. Parece próximo el día en que la energía nuclear estará a la disposición de todos los seres humanos y contribuirá ampliamente a mejorar sus condiciones de existencia.

En abstracto, la *energía nuclear* presenta en efecto *numerosas ventajas*. El uranio está *presente un poco en todas partes en el mundo*, lo que debería permitir a cada país utilizarlo con plena independencia. Esta energía es *muy densa*, lo que debería permitir transportarla muy fácilmente. Se encara producirla masivamente para satisfacer las necesidades de las grandes concentraciones industriales y urbanas, o aun producirla en pequeñas cantidades en las regiones retiradas, en los países del Tercer Mundo. Esta energía podría utilizarse en producir el calor o el frío, en extraer agua del subsuelo, en desalinizar el agua de mar, en fabricar electricidad, en producir fuerza motriz, todo ello en las cantidades queridas, en cualquier parte del mundo. *En el dominio de los transportes*, la energía nuclear parece ser la *solución ideal* por su fuerte densidad: se comienza a construir submarinos y barcos de propulsión nuclear, se imagina aviones con reactores nucleares. Se piensa incluso usar la energía nuclear

5 Robert Jungk, *Brighter than Thousand Suns*, cit.; G. K. Buebyrgm, *En nombre de la ciencia - Análisis del control económico y político del conocimiento*, Buenos Aires, Editorial Tiempo Contemporáneo, 1973.

para modificar el curso de los ríos, abrir canales interoceánicos. Se pasa en revista a las *numerosas utilizaciones específicas posibles de la radioactividad*, en medicina, biología, industria [...] Los científicos privilegiaban la energía nuclear como arma formidable en la lucha incesante del hombre contra la naturaleza, en el proceso de ordenamiento de un medio ambiente más gratificante para el hombre [...]⁶

La energía nuclear se ha implantado efectivamente en el mundo, pero no tanto como se esperaba, ni de la misma manera. Las realizaciones del nuclear civil se han quedado muy atrás de lo deseado y benefician casi exclusivamente a los países ricos. Y las realizaciones militares del nuclear, más difundidas de lo que se pensara, son fuente de graves preocupaciones.

Desde 1946, la tecnología nuclear comienza en los Estados Unidos a transferirse del dominio militar al civil. Se estudia la construcción de un reactor nuclear para propulsión de submarinos, y se lanza en 1954 el *Nautilus*, primer submarino de esta propulsión, seguidos por unos 300 submarinos y navíos de este tipo. En 1957 surge la primera central electronuclear norteamericana, con reactor construido por Westinghouse. La producción electronuclear se desarrolla rápidamente, alcanzando en 1985 1,100 TWh (miles de millones de kWh) producidos en el mundo a partir de la energía nuclear (1/8 del total de electricidad producida).

Pero, entre los numerosos usos civiles que se esperaba de la energía nuclear, de hecho sólo la producción eléctrica se implantó verdaderamente. Las otras posibilidades de utilización [...] son postergadas por varias décadas, por su falta de competitividad. Las realizaciones de propulsión naval son puestas en operación sólo en ausencia de exigencias de competitividad económica (barcos experimentales o militares).

La energía nuclear se ha vuelto así sinónimo de electricidad. Una central nuclear es el conjunto constituido por un reactor nuclear que produce calor, por un circuito de agua que, captando el calor desprendido por el reactor, da el vapor que hará girar el grupo turbo-alternador, produciendo así electricidad [...] En relación a una central térmica clásica (carbón o *fuel-oil*), la central nuclear difiere esencialmente por la naturaleza de la caldera; el resto de la instalación es tomado de las centrales clásicas. La energía nuclear, en sus aplicaciones civiles, es simplemente una nueva manera de producir electricidad. Por este hecho, la mutación tecnológica fundamental que se esperaba no trastornará los procedimientos industriales conocidos, ni modificará los modos de vida.

6 Angelier, *cit.*

El uso de la electricidad de origen nuclear en la industria no ha traído consigo la revolución industrial que se esperaba.

[...] No permite valorizar nuevas materias primas, *no trae consigo la fabricación de productos nuevos*, ni “nuevas combinaciones entre energía, capital y trabajo”. En los transportes, igualmente pocas modificaciones. Y en cuanto a los usos domésticos, la calefacción y la cocción eléctricas no tienen nada de específico en relación al nuclear [...]

La industria nuclear ha encontrado grandes problemas técnicos, como el *confinamiento del reactor*, su aislamiento del medio ambiente para evitar radiaciones peligrosamente contaminantes, problema más complejo y costoso de lo que se pensó.

[...] Las centrales nucleares son competitivas sólo cuando son de gran tamaño (600 MW o más) [...] Muy pocos países del Tercer Mundo pueden recibir una central eléctrica de gran tamaño, dada la débil capacidad de absorción de electricidad de sus economías [...] Por coacciones técnico-económicas, y por las reticencias de los países industrializados respecto a la transferencia de sus tecnologías, el Tercer Mundo se ha quedado muy atrás del nuevo aporte energético que constituye la energía nuclear.

Tras experimentar un notable crecimiento, la *industria electronuclear* va sufriendo una crisis desde la década de 1980, con la desaceleración, el estancamiento y el retroceso de previsiones, programas y órdenes. Se ha intentado explicar la crisis por razones coyunturales, técnicas, económicas y políticas. La toma en consideración por los poderes públicos de la oposición ecologista entorpece las decisiones políticas y los procedimientos administrativos, alarga los plazos de construcción de las centrales, y con ello refuerza normas de seguridad y encarece los costos. La crisis económica frena el crecimiento de la demanda de electricidad. La gran revolución científica de la energía nuclear no desemboca en una industria motriz cuyo crecimiento arrastre consigo el de otras actividades económicas. La industria electronuclear acompaña el crecimiento, no lo reactiva.

Científicos y trabajadores se dividen en cuanto a cuestiones técnicas: los accidentes en el funcionamiento de las centrales; el retratamiento de los desechos nucleares; el desmantelamiento de las centrales llegadas al final de su carrera; la racionalidad del uso en un reactor nuclear de agua a temperaturas altas para producir electricidad destinada a cale-

facción o a cocinar. A ello se agregan reservas o críticas de tipo económico y político.

Pese a las limitaciones constatadas en el desarrollo de la energía nuclear, se han esgrimido *en favor* de su producción y uso crecientes argumentos como los siguientes.

1. El crecimiento económico y la elevación del nivel de vida son necesidades sociales y políticas, de todo lo cual el consumo de energía es a la vez símbolo y condición. La energía nuclear permite el crecimiento —de todos modos irresistible— del consumo de energía, en condiciones de agotamiento más o menos próximo de sus fuentes tradicionales. Si el petróleo no faltara a corto plazo, y si su precio se mantuviera muy bajo, podría en determinadas circunstancias volver a escasear o a costar cada vez más caro. Lo nuclear garantizaría un dominio duradero del problema energético, mientras las nuevas fuentes de energía posibles están todavía en el estadio de la investigación.

2. La energía nuclear es inagotable y a bajo precio, frente a los hidrocarburos a la vez en posibles procesos de agotamiento y en encarecimiento. El precio del kwh nuclear ya es competitivo.

3. La energía nuclear garantiza la independencia energética nacional y el goce de una balanza comercial equilibrada o superavitaria. Abre además el camino para el logro o el aumento de la capacidad tecnológica.

4. Bajo adecuado control, la energía nuclear es “limpia”, no contaminante, sobre todo en comparación con el carbón y el petróleo. No ofrece ningún peligro mayor que el de otras instalaciones energéticas. Los accidentes de funcionamiento son numerosos pero sin gravedad. La radioactividad desprendida por las centrales nucleares es desdeñable, no representa un riesgo real. Las técnicas nucleares están suficientemente dominadas. Se estaría entonces al abrigo de un accidente mayor.

5. La opción en favor de la industria nuclear trae consigo la creación de empleos, en la investigación científica, las operaciones de realización del programa y de funcionamiento de las instalaciones nucleares.

En contra del uso se argumenta sobre todo lo siguiente:

1. Al mismo tiempo que, desde el fin de la Segunda Guerra Mundial, se proclaman las esperanzas y apoyos respecto a la perspectiva de uso de la tecnología de la bomba atómica para producir energía pacífica, como progreso de la humanidad, grandes empresas van viendo paulatinamente en ello nuevas posibilidades de beneficio, y se interesan cada

vez más en este mercado. Décadas después, los sectores más rentables de la industria nuclear se vuelven dominio de grandes firmas multinacionales (petroleras, electromecánicas, químicas). Son los sectores menos rentables los que quedan a cargo de los Estados.

2. La energía nuclear no es capaz de suplir la carencia de las fuentes tradicionales de energía. Ella misma proviene de una materia prima escasa cuyas reservas naturales se agotarían rápidamente.

3. No es obvio ni irrefutable que la energía nuclear sea por su bajo costo competitiva. Quizás haya llegado a serlo sólo en las fases de encarecimiento del petróleo. No es evidente que lo sea en relación al carbón. En las décadas de 1980 y 1990, las fuentes tradicionales de energía no se han vuelto más raras ni más caras. Han resultado prematuras las predicciones alarmistas sobre el fatal agotamiento a corto plazo de los recursos mundiales en hidrocarburos, y sobre todo en carbón. El propio costo de la energía nuclear se eleva rápidamente, exige muchos más capitales que las otras fuentes, amenaza con replantear o desvirtuar el argumento de la competitividad. También el uranio tiende a volverse cada vez más caro. Las grandes compañías energéticas internacionales influyen tanto en los precios del uranio como en los del petróleo.

4. Antes de ser productora de energía, la industria nuclear es consumidora y lo será por mucho tiempo.

5. El desarrollo de la industria nuclear no reduce necesariamente la dependencia exterior de energía. Puede aumentar la dependencia de grupos monopolistas internacionales (v. gr. el grupo norteamericano Westinghouse), en el aprovisionamiento de tecnologías, equipos, e incluso combustible, para las centrales nucleares.

6. La opción en favor de la energía nuclear resulta lógicamente de una política tecnológica que da prioridad absoluta al crecimiento de la producción por encima de cualquier otro interés humano y de toda otra consideración social. La perspectiva de la disponibilidad de energía nuclear fomenta la tendencia real y la ilusión de la posibilidad ilimitada de consumo de energía y de despilfarro general de los países altamente desarrollados. Ello además desalienta o impide las posibilidades de mejor aprovechamiento de las energías convencionales y el desarrollo de las llamadas *energías alternativas*, inocuas y descentralizadas.

7. Con la energía nuclear se pueden reproducir los errores cometidos en épocas anteriores por la gran industria al no preverse por adelantado las consecuencias negativas de ciertas tecnologías.

La energía nuclear es técnicamente peligrosa y contaminante, y está lejos de estar sometida a un control efectivo. La radioactividad desprendida por las centrales nucleares no es desdeñable, representa un riesgo

real. No se está al abrigo de un accidente mayor; algunos suficientemente graves ya se han producido. Con el paso del tiempo, la rutina trae consigo un relajamiento de las medidas de seguridad. Se puede prever casi todo, salvo el error humano, la irresponsabilidad, el acto malévolo o perverso, el acceso de demencia. No se puede evaluar el efecto acumulado de los desechos radioactivos. Por razones técnicas, las centrales nucleares duran menos que las centrales clásicas, en promedio unos veinte años, y al cabo de este término parece no quedar otra solución al respecto que el emparedamiento de los reactores y la obturación de todas las aberturas, como una tumba eternamente cerrada.

8. Las implicaciones sociales y políticas son sin embargo más vastas y complejas, y eventualmente más intimidantes. La utilización técnica de la fisión nuclear ha dado un salto hacia nuevas dimensiones de violencia. Ésta comienza por dirigirse contra enemigos militares, para amenazar luego a los mismos ciudadanos.

Pues los “átomos para la paz” no se diferencian substancialmente de los “átomos para la guerra”. La intención manifestada de utilizar la fisión nuclear exclusivamente para fines constructivos en nada afecta al carácter biocida de la nueva energía. Los esfuerzos para controlar esos riesgos sólo parcialmente pueden dominar los peligros. Sus mismos partidarios se ven obligados a admitir que nunca será posible excluirlos por completo. El pequeño (o grande, es una cuestión de punto de vista) resto de incertidumbre cubre un potencial de calamidades tal que ensombrece todas las posibles ventajas.

Los partidarios de la industria atómica no desconocen los peligros y amenazas, pero les dan prioridad a los de tipo ecológico y biológico sobre los socioeconómicos y políticos. Están convencidos de la posibilidad de protección a partir y a través de “medidas de seguridad sin precedentes”, ya sea de naturaleza estrictamente técnica a cargo de ingenieros y economistas, ya “de un modo mucho más estricto que cualquier otro”, para la protección de los propios hombres, “de sus errores, de sus debilidades, de sus enfados, de sus artimañas, de su ansia de poder, de su odio”. Para la completa inmunidad de las instalaciones nucleares se iría ineludiblemente hacia “una vida llena de prohibiciones, de controles y de obligaciones que buscarían su legitimación en la magnitud de los peligros que a toda costa habría que evitar”.⁷

⁷ Jungk, *El Estado nuclear*, cit., p. 10.

No se puede excluir los peligros del uso y del abuso de la energía y el arma nucleares. La perfecta seguridad no deja de ser una expresión de deseos. No se puede dar garantías contra la extorsión y el terror nucleares.

El peligro del uso destructor de la bomba atómica no se reduce al escenario de una disputa o conflicto entre Estados, sobre todo entre los de las potencias y países altamente desarrollados.

[...] también los conflictos internos de las sociedades pueden llegar a franquear el temido “umbral nuclear”: el sabotaje y el terrorismo nucleares no pueden excluirse tan pronto como los depósitos de material de fisión procedentes de la industria nuclear cobren creciente envergadura [...] en un muy breve plazo de tiempo.⁸

Existe efectivamente la creciente posibilidad de robo de materias fisibles, susceptibles de ser utilizados bajo forma de bomba Atómica.

El desarrollo de la energía nuclear, cuyos usos civiles y militares no son técnicamente dissociables, amenaza reforzar la proliferación del arma atómica, por parte de potencias, países altamente desarrollados, pero también de países subdesarrollados, de regímenes autoritarios y totalitarios, de grupos y movimientos fundamentalistas y terroristas por razones ideológicas y políticas, de organizaciones de vieja y nueva criminalidad.

Así, por una parte,

en ese contexto no sólo podrán los Estados contar con intentos de chantaje exteriores, sino que deberán también contar con intentos golpistas internos. En las sociedades militares la expectativa de disputas internas entre grupos rivales siempre es de temer. Un día u otro, tal o cual cuerpo de guardia encargado de la “protección del objeto” nuclear amenazará con “el último recurso”. ¿Quién puede entonces controlar eficazmente a esos poderosos controladores? En regímenes duros, con mandatarios duros en las palancas del poder, los riesgos de seguridad serán sólo al comienzo pequeños, pero, con el tiempo y a juzgar por la experiencia, mayores. La “vía dura” de los tiranos ha llevado siempre a la catástrofe.

Por otra parte, “[...] gangsters, golpistas y terroristas con un arma tal en las manos —caso de que llegaran a disponer de ella— serían

8 Jungk, *El Estado nuclear*, cit., pp. 10 y 11.

presumiblemente bastante menos escrupulosos que los estadistas y los estados mayores”.

En esta dirección preexisten, o surgen y se desarrollan, fuerzas y tendencias histórico-estructurales de fuerza e influencia considerables, como las que enseguida se indica.

9. Como otrora las Pirámides de Egipto, la Gran Muralla, Versailles, “las centrales nucleares, como estructuras construidas, tienen una función política de prestigio. Estas realizaciones espectaculares mantienen el culto del gigantismo, aplastan con su masa los hombres a los cuales se quiere así demostrar su impotencia”.⁹

Desde el principio, el debate sobre la energía nuclear no tiene lugar entre los ciudadanos, en el seno de la opinión pública. Es por el contrario dominado por una elite de especialistas, que pretenden saber más e imponer sus opiniones a la aceptación ciega y acrítica de las mayorías.

La mayoría de los habitantes y ciudadanos van entrando en un mundo en el que se comprende cada vez menos y peor lo que son y lo que ocurre en las grandes instalaciones industriales como las plantas nucleares, que aparecen cerradas a su examen y comprensión, a su inteligencia y a su voluntad de acción, y que imponen la aceptación resignada.

En las centrales nucleares aparece una concepción de la organización del trabajo que se instaura y realiza mediante la fijación de procedimientos, la previsión de todos los casos, el cumplimiento de las series de operaciones prefijadas, la prohibición de las reflexiones e iniciativas individuales. Los procedimientos se fijan para todos los grupos profesionales participantes en el trabajo de la central nuclear, para las operaciones de control, para los incidentes, los accidentes, los desperfectos.

La industria nuclear suscita y hace funcionar su propia variedad de *tecnestructura*, como articulación de numerosos especialistas, dueños de un conocimiento parcelario, sin derecho a salir del nicho de su competencia. Los especialistas en su conjunto proveen la totalidad de las capacidades requeridas, siendo cada uno responsable sólo de su técnica y nadie del sistema. Ello excluye por una parte al generalista tecnológico, y por la otra al no especialista, el ciudadano, el consumidor, que debe confiar en los que saben, sin derecho a la interrogación, la duda ni la crítica.

10. El carácter técnicamente peligroso y contaminante de la energía nuclear, y la inexistencia o insuficiencia de un control adecuado, traen

⁹ Jean Chesneaux, “Les enjeux historiques du nucléaire”, *Cahiers du Forum Histoire*, núm. 9, mayo 1978.

consigo, crean o refuerzan, —ya antes se lo indicó— otras implicaciones sociales y políticas negativas o nefastas.

Su producción, necesariamente concentrada en grandes unidades, plantea problemas de seguridad, posibilita amenazas terroristas, que requieren una vigilancia permanente y rigurosa, y contribuyen a la emergencia de una sociedad y un régimen político policiales. La protección necesaria contra los riesgos arrastraría consigo ineluctablemente una sociedad más centralizadora y totalitaria, contra las aspiraciones y prácticas participativas y liberadoras.

La energía nuclear puede reforzar el desarrollo de los instrumentos y mecanismos de dominación y coerción sobre las personas (vigilancia policial reforzada, condicionamiento del individuo, desaparición de todo dominio o participación en las decisiones). La energía nuclear amenaza con volverse institución admitida por todos, y que sería demencial criticar o impugnar. La preocupación y el debate de personas informadas, respecto a los peligros de la energía nuclear, la crítica y la oposición a sus programas, la distribución de información verídica, pero productora de miedo y hostilidad, se volverían peligro para el orden existente y el aparato político-administrativo; se las definiría como conductas subversivas, atentados a la seguridad del Estado, que podrían volverse objeto de imposición de tabúes, de criminalización y penalización.

Una fuerza de seguridad de nuevo tipo será encargada de escoltar estos convoyes (de transporte de desechos atómicos), de controlar las personas que residen en la proximidad de los centros nucleares y de las vías de transporte, de vigilar los millares de trabajadores que aseguran directa e indirectamente la manutención, la fabricación, el tratamiento, el almacenamiento de materias altamente radioactivas, y sobre todo el plutonio.¹⁰

A ello se agrega que los agentes del servicio central de protección contra las radiaciones pueden estar obligados por juramento a no revelar o usar lo que lleguen a saber en ocasión del ejercicio de sus funciones.

Para algunos de los más radicales críticos de la energía nuclear, ésta seguiría fuertes tendencias estructurales en la lógica del sistema.

M. Foucault ha mostrado en *Vigilar y castigar* como los hospicios, los hospitales, los asilos, los cuarteles, las escuelas, las prisiones, y seguramente las fábricas, se habían organizado como otros tantos espacios

10 Michel Bosquet, "La dictature du plutonium", *Le Nouvel Observateur*, París, 28 junio 1976.

fuertemente estructurados, condicionando completamente la actividad de los interesados y favorables a una vigilancia rigurosa. Los grandes encerramientos de fines del siglo XX conciernen a la actividad cotidiana y la vida “normal” del mayor número, de modo permanente: supermercados, grandes conjuntos, complejos administrativos, zonas industriales, autorrotas y aeropuertos, parques de diversiones, son otros tantos espacios facticios, sabiamente codificados, sometidos a un control constante, y que ponen a cada uno en la dependencia completa del sistema que los ha establecido. Las centrales nucleares están en el centro de este sistema y de esta lógica. Su aparición en los años 70 es perfectamente funcional, su racionalidad descendiendo mucho más profundamente que los simples azares del precio del petróleo mundial.¹¹

En la prospectiva de la crítica radical, el advenimiento de la sociedad nuclear iría reduciendo la historia cada vez más a ciclos tecnológicos programados por los especialistas.

Desembocaría en la dimisión política en beneficio de los expertos, en la aceptación pasiva del secreto nuclear. La vida política “democrática” se degradaría completamente, puesto que ni los ciudadanos ni sus “elegidos” tendrían el menor recurso, el menor control, el menor acceso a los verdaderos resortes del poder, a los verdaderos escalones de la decisión [...] La esfera política sería reducida a tres sectores verdaderamente activos: los dueños de la economía —los expertos a su servicio, los que saben, los que les someten los programas de decisión— los servicios de control policial, civil y militar (“defensa contra el enemigo interior”), indispensables para proteger esta tecnología siempre más frágil y siempre más peligrosa. La protección policial se vuelve una prioridad política; lleva a una sociedad de control policial generalizado, a la vez en el interior de las centrales, en su vecindad, sobre los itinerarios recorridos por los materiales, y también en todos los medios sospechosos, ya sea de oposición política, ya de proyectos de proliferación criminal (el mundo de la delincuencia sigue con notable sagacidad los logros de la técnica “respetable”). En suma, un control policial que no perdonaría ninguna región ni capa social.¹²

A todo lo cual hay que añadir que la exportación de energía nuclear a los países del Tercer Mundo fortalece las formas de Estado autoritarias actualmente existentes, aniquila las esperanzas de una democratización paulatina y favorece el éxodo rural. En la medida en que la energía nuclear sólo tiene sentido económicamente si se produce en grandes centrales desde las que se distribuya, resultará favorecido en los países

11 J. Chesneau, *cit.*

12 J. Chesneau, *cit.*

en vías de desarrollo el crecimiento ya exageradamente hinchado de las metrópolis industriales. Pues en ellas se concentra un gran número de “clientes”. El aprovisionamiento de los pueblos significaría la instalación de extensas y costosas redes distribuidoras [...] Hasta ahora, sólo una pequeña fracción de la corriente producida por los reactores hindúes llega a la población rural que es, sin embargo, la más necesitada.

Por otra parte, los planes de la industria nuclear, consistentes en concentrar el peligroso y vulnerable ciclo de combustión nuclear en unos pocos “parques nucleares” de gran rendimiento, favorece el surgimiento de un imperialismo nuclear: cada vez más Estados africanos, asiáticos y latinoamericanos, aún independientes, acabarán en la segunda o tercera fase de nuclearización prisioneros de la “cadena energética”. Ello ofrecería a los dirigentes de los Estados atómicos del Tercer Mundo la posibilidad de usar armas nucleares “como última y desesperada amenaza, incluso contra la población.”¹³

Estas tendencias son reforzadas por la irreversibilidad del desarrollo nuclear.

Una vez “puesto en marcha” un reactor, se desencadenan procesos imposibles de parar durante muchísimo tiempo. Las desintegraciones radioactivas, cuya duración afecta a generaciones, y sus radiaciones biocidas han de ser controladas con el máximo esmero y permanentemente. Décadas, siglos, milenios. En cuanto el número de instalaciones y depósitos que necesariamente hay que vigilar rebasa un determinado punto, la estricta “supervisión” y los “controles” macularán el clima político durante un largo espacio de tiempo.¹⁴

La resistencia contra las centrales nucleares se manifiesta, entre otras modalidades, por esta posición contraria a la influencia predominante de los físicos en el debate nuclear, bajo la forma de

una protesta contra el “clero” celoso de su servicio hacia una ciencia, a menudo entumecida y cristalizada en forma de “iglesia” [...] La cuestión atómica se ha convertido en el momento desencadenante de una controversia que va mucho más allá de su causa inmediata. El debate tiene que ver no sólo con la forma futura del aprovisionamiento energético, sino también con la forma futura del dominio político. No sólo se trata de un conflicto acerca de una determinada tecnología, sino que la cosa afecta a todas las formas de manifestación y a las influencias sobre el poder de la tecnología industrial a gran escala. Y detrás de todo ello

13 Jungk, *El Estado nuclear*, cit., pp. 14 y 15.

14 Jungk, cit., p.15.

está la cuestión omni-abarcadora, si la actual sumisión y explotación del progreso científico-técnico orientado según objetivos humanos sigue siendo conveniente.¹⁵

El temor a las consecuencias nocivas y destructivas de las aplicaciones militares y civiles de la energía nuclear ha dado lugar a importantes movimientos de resistencia y lucha contra aquéllas. Los mismos abarcan una gama muy amplia de grupos y sectores, orígenes y motivaciones (amenazas y realidades de daños y catástrofes, implicaciones socioeconómicas, culturales y políticas, contribución al deterioro del medio ambiente o a la destrucción de la civilización o del planeta). Su influencia ha sido decisiva en el surgimiento y progreso de los movimientos ecologistas.

Con su aparición y desarrollo, los movimientos antinucleares y ecologistas han servido

para perturbar los cálculos de los estados mayores de la administración y de la industria. Los programas nucleares ya no podrán ser cumplidos con la envergadura inicial prevista ni en el momento originariamente convenido. Los cálculos de costos no resultan ya adecuados. No impera ya el optimismo del progreso que caracterizó a los primeros años de la industria atómica.¹⁶

Las críticas y resistencias (parciales o totales) al uso de la energía nuclear y, más ampliamente, el desarrollo de las concepciones y movilizaciones ecologistas, también han contribuido decisivamente a las propuestas de tecnologías alternativas o blandas, y al debate sobre sus posibilidades de sustitución de las tecnologías duras y de mayor adecuación a las exigencias de preservación del medio ambiente, ya sea en combinación con un uso más racional de los hidrocarburos, o en sustitución de los mismos. Ello se ha dado sobre todo desde la crisis del petróleo de 1973, como respuesta a las amenazas de escasez y encarecimiento del petróleo en las crisis de los años de 1970.

Se han recuperado o desarrollado así, y realizado parcialmente y en ciertos momentos, propuestas referidas a las posibilidades de uso de *fuentes de energía renovables*, que por largo tiempo han sido subestimadas, olvidadas o deliberadamente ignoradas. Son las fuentes constituidas por el agua, y por el viento: el calor interno de la tierra liberado

15 Jungk, *El Estado nuclear*, cit., pp. 159 y 160.

16 Jungk, *El Estado nuclear*, cit., p. 160.

por *geysers* y volcanes; la energía proveniente de las mareas oceánicas; la biomasa; la fotosíntesis; la energía solar.

5. CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES

Información y comunicaciones se convierten, durante la Tercera Revolución Industrial, en un campo siempre creciente en tamaño, complejidad y dinamismo. Aquéllas integran una vasta constelación de *factores, componentes, procesos, implicaciones, consecuencias*; un racimo de ciencias y tecnologías y sus interrelaciones, sujetas a trascendentes y acelerados avances. Revolución por sí misma dentro de la Tercera Revolución, la Información en el sentido más amplio conjuga la prolongada preparación a través de la historia de los últimos milenios y una gran novedad.¹⁷

A. Ciencias de la Información y la Comunicación

La *Teoría de la Información* parte y se desarrolla a partir de la *Ingeniería de Control*, rama de la Ingeniería que trata del ajuste de aparatos y sistemas, con o sin un operador humano. Abarca por ello el tema de la *automación*, entendida como, primero, el control automático de la fabricación de un producto a través de una serie de fases sucesivas; y luego el control de máquinas por máquinas con reducción al mínimo de la intervención humana. Esta ingeniería se preocupa también por los sistemas de control de circuito cerrado. El descubrimiento de un error, y el uso de esta información para corregirlo, constituyen un *sistema de retroacción*, que incluye instrumentos de detección, amplificadores, unidades energéticas. La Ingeniería de Control comienza experimentalmente, pero se va desarrollando rápidamente como disciplina matemática, cuyos aspectos teóricos se vinculan estrechamente con los de la *Ciencia de la Información*, y con los de la *Computación*. La teoría matemática

17 Para una visión de conjunto y un análisis específico del desarrollo de la Ciencia y la Tecnología de la Información, me he apoyado y seguido muy de cerca el *Rapport sur l'état de la technique - La révolution de l'intelligence*, París, Centre de Prospective et d'Évaluation, Ministère du Redéploiement Industriel et du Commerce Extérieur/Ministère de la Recherche et de la Technologie, 1985. También, Simon Nora y Alain Minc, *L'informatisation de la société*, París, La Documentation Française/Seuil, 1978; J. L. Jolley, *Ciencia de la información*, Madrid, Ediciones Guadarrama, 1968.