

CAPÍTULO II

CIENCIAS, TECNOLOGÍAS, TÉCNICAS

6. Biología y biotecnologías	84
7. Medicina y salud	96
8. Hacia una ciencia de la Tierra	99

tauración y mantenimiento de regímenes y prácticas nocivas y destructivas de los derechos humanos.

Al nivel *internacional*, las nuevas tecnologías han venido modificando los datos y las posibilidades de organización y funcionamiento de la economía y la política mundiales, de la soberanía y la seguridad nacionales, de la diplomacia, la estrategia y la guerra.

A las dimensiones sociales, políticas y jurídicas se vuelve luego.

6. BIOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍAS

Las Biociencias, la Biología Molecular y la Biología Celular, la Ecología, las Biotecnologías, sus avances hacia un creciente dominio del *fenómeno viviente*, constituyen una revolución científico-tecnológica en sí misma dentro de la Tercera Revolución. Las Biociencias desplazan hasta cierto punto a la Física en el papel prominente y dirigente que ésta logró en la primera mitad del siglo XX, en la comprensión de la naturaleza, pero también de lo humano. Pasan de la fase descriptiva a la de modelización, la explicación y la experimentación, para la comprensión de los procesos de vida, la creación y alteración de sus formas de vida; van borrando la distinción entre lo natural y lo sintético. Tienen, por añadidura, implicaciones significativas en lo económico y lo social, y probablemente también en lo político (nacional e internacional), en lo diplomático y lo militar.²⁴

En la Revolución Biológica convergen los progresos en el conocimiento y explotación de los procesos básicos de la vida, con múltiples interrelaciones e interacciones de ciencias, técnicas y sectores socioeconómicos y políticos. La confluencia se da, en primer lugar, desde las técnicas biológicas básicas: ingeniería fermentaria, enzimática, celular; informática, electrónica, automatización, y la ingeniería genética en emergencia. En segundo lugar, ciencias y sus especializaciones: Citología (estudio de las células a través del microscopio), Genética, Química.

24 Kenneth H. Keller, "Science and Technology", *Foreign Affairs*, New York, vol. 69, núm. 4, 1990, pp. 123-138. Sobre la Revolución Biológica, ver *La Révolution de l'intelligence - Rapport sur l'état de la technique, Sciences et Techniques*, París, marzo 1985, que tengo muy en cuenta, así como Alexander Hellemans y Bryan Bunch, *The Timetables of Science - A Chronology of the Most Important People and Events in the History of Science*, New York, Simon and Schuster, 1988. Ver también Michael D. Biddiss, *The Age of the Masses*, Penguin Books, 1977; Yves Barel, *La reproduction sociales - Systèmes vivants, invariance et changement*, París, Éditions Anthropos, 1973; Jacques Ruffié, *De la biologie à la culture*, París, Flammarion, 1976; Watson Fuller (ed.), *The Social Impact of Modern Biology*, London, Routledge & Kegan Paul, 1971; François Gros, François Jacob y Pierre Royer, *Sciences de la vie et société - Rapport présenté à M. le Président de la République*, París, La Documentation Française/Éditions du Seuil, 1979.

En tercer lugar, sectores implicados: procreación, salud, agricultura, agroalimentos, energía, medio ambiente, defensa, industria y finanzas. La industria, que se ha apoyado sobre todo en las “ciencias duras”, Física y Química, para el logro de procedimientos “duros”, se va desplazando hacia las ciencias naturales y las biotécnicas que manipulan células, enzimas y microbios.²⁵

Los avances en la disponibilidad de instrumentos técnicos tienen importancia crucial en los logros. A principios de siglo, el microscopio óptico demuestra la realidad de la célula como unidad básica de la vida. El microscopio electrónico revela luego sus elementos constitutivos. Hacia los años de 1950, los Rayos X ayudan a establecer la estructura molecular del ADN y a descubrir el código genético. La Informática, con la concepción asistida por computadora (CAD) y la síntesis de imagen, permite modelizar procesos microscópicos y moleculares, e ir pasando del descubrimiento empírico y la recolección al diseño y al cultivo, del microbio al medicamento a la medida.

El avance revolucionario de la *Genética* como estudio científico de la herencia, se da en las décadas recientes, pero a partir del redescubrimiento de la obra de Gregor Mendel y, más aún, se apoya en datos acumulados durante siglos.

El redescubrimiento de Mendel en 1900 desarrolla gran interés en las causas de la herencia. Los cromosomas, como portadores estructurales de las características hereditarias, ubicados en el núcleo celular, han sido descubiertos y estudiados por Walter Flemming en 1880, sin conocerse su conexión con la herencia. Ya en 1869, Federico Miescher había descubierto ácidos nucleicos en el núcleo celular, pero no los conectó con la herencia ni con los cromosomas. Desde 1907, Thomas Hunt Morgan confirma las leyes de Mendel, pero descubre también que algunas características hereditarias parecen tener lazos entre sí que actúan como si los *genes*, unidades de la herencia, se alinearan en largas filas. En 1911, Morgan demuestra que los genes alineados en los cromosomas son los agentes de la herencia.

El desarrollo en Genética es acompañado por otro en la Química. Entre 1909 y 1929, Phoebus Aaron Theodor Levene descubre dos tipos de ácidos nucleicos: el ácido ribonucleico (RNA) y el ácido deoxiribonucleico (DNA). Levene trabaja también en la naturaleza química de otros componentes en el RNA y el DNA. En los años 1930, esta Química es detalladamente explorada por Alexander Todd.

25 Ver Bernard D. Davis, editor, *The Genetic Revolution - Scientific Prospects and Public Perceptions*, Baltimore y London, The Johns Hopkins University Press, 1991.

Como otras estructuras celulares, los cromosomas contienen proteínas y DNA. Se pensó que los genes debían ser proteínas, hasta que en 1944 Oswald Avery y colaboradores muestran que las características hereditarias pueden ser inducidas por el DNA sin que una proteína esté involucrada, y que los genes deben consistir de alguna manera en DNA.

Los genetistas que van explorando las bases físicas de la transmisión de características hereditarias han estudiado la unidad de herencia, los *genes*, unidad única de transmisión hereditaria a través de sucesivas generaciones de todos los organismos vivientes. Los genes están contenidos y ordenados a lo largo del *cromosoma*. El gene está compuesto de ácido deoxiribonucleico o DNA. Cada cromosoma de cada especie tiene un número y un ordenamiento definidos de genes, que rigen la estructura y las funciones metabólicas de las células y por ende de todo el organismo. Ellos dan información para la síntesis de enzimas y otras proteínas y especifican cuando estas sustancias deben ser producidas. Alteraciones del número o el ordenamiento de los genes pueden resultar en una mutación, un cambio en los rasgos heredados.

La Química y la Física de los organismos vivientes van desembocando en el descubrimiento, por James Watson y Francis Crick, de la estructura molecular de las sustancias químicas que rigen la réplica genética. El desmantelamiento de viejas barreras conceptuales y departamentales se evidencia precisamente en la confluencia entre Ciencias Físicas y Químicas y Ciencia de la Vida.

Desde los años de 1950, algunos científicos de diferentes especialidades se esfuerzan por comprender el ácido deoxiribonucleico (DNA), que los genetistas ya saben es el portador crucial de los mensajes químicos de la herencia a través de las generaciones. Se lanza ahora una carrera para descubrir el modelo de su estructura molecular.

En 1951, el químico Linus Pauling, en colaboración con B. B. Corey, determina que la estructura de la molécula de una clase de proteínas es una hélice, o espiral de tres dimensiones. Los estudios cristalográficos de patrones de difracción de rayos X, campo inaugurado antes de la Primera Guerra Mundial por Max von Laue en Alemania y W. H. y W. L. Bragg en Inglaterra, son aplicados en este país por Maurice Wilkins y Rosalind Franklin para dilucidar la estructura del DNA.

La posibilidad que la molécula del DNA tenga algún tipo de estructura en espiral, es investigada en Cambridge por el trabajo en colaboración del químico viral norteamericano James Watson y el biofísico inglés Francis Crick. Ellos demuestran que la molécula del DNA tiene una estructura espacial en doble hélice, de la que hacen una descripción detallada. Dos espirales de azúcar-fosfato entrelazadas, ligadas por bases

complementarias de adenine-timina y guanina-citosina, dan la clave a los códigos genéticos particulares. El modelo indica el método exacto de la replicación genética. Cuando una célula se divide, las espirales se separan una de la otra, y entonces cada media molécula guía la reconstitución de su complemento perdido. Se logra así una expresión en forma química de los ciclos de la vida que los vincula con la naturaleza como un todo. Watson y Crick publican el resultado en el artículo del 25 de abril de 1953, y obtienen el Premio Nobel unos años después.²⁶

En las décadas siguientes al descubrimiento de 1953, se van dando los aprovechamientos de los avances, tanto en la Biología Molecular como en la Biotecnología, en las ciencias y técnicas de lo viviente y en sus interpenetraciones.

El trabajo sobre ácidos nucleicos ha permitido explicar como los genes determinan todos los procesos vitales, dirigiendo la síntesis de todas las proteínas celulares. Ha explicado también la mutación como alteraciones en la estructura de genes y cromosomas. La *mutación* es en Biología un cambio súbito en un gene, que resulta en una nueva característica heredable. En los animales superiores y en muchas plantas superiores, una mutación puede ser transmitida a las futuras generaciones sólo si ocurre en el tejido del germen o célula sexual; las mutaciones en células corporales no pueden heredarse. Los cambios dentro de la estructura química de un gene pueden ser inducidos por exposición a radiación, extremos de temperatura, y algunos químicos. El término mutación es también usado para incluir pérdidas o reordenamientos de segmentos de cromosomas. La mutación que puede establecer nuevos rasgos en una población es importante para la evolución.

Algunas sustancias (colchicina) duplican el número normal de cromosomas en una célula, al interferir con la división de la célula o *mitosis*. Ésta es el proceso de división nuclear de una célula viviente por el cual los portadores hereditarios o cromosomas son duplicados exactamente, distribuyéndose las dos partes a nucleos-hijos idénticos. En la mitosis, cada célula formada recibe cromosomas que son iguales en composición y número a los cromosomas de la célula paterna. La división mitótica ocurre en células somáticas (cuerpo), y sexuales (óvulo, esperma).

La *meiosis*, proceso de división nuclear de una célula por el cual los cromosomas son reducidos a la mitad de su número original, ocurre

26 Para la historia del descubrimiento de la estructura del DNA, por uno de sus protagonistas, ver James Watson, *The Double Helix*, New York, Mentor Book, 1968.

sólo durante la formación de células sexuales (óvulo, espermatozoide). Una célula corporal ordinaria contiene dos de cada tipo de cromosomas (diploide). La meiosis produce células con un cromosoma de cada par (haploide). En la fertilización, dos células haploides se unen; el cigoto resultante contiene un número diploide de cromosomas.

En 1972 se comienza a utilizar enzimas (de restricción) para reconocer una secuencia del DNA y cortarla en un sitio específico. Otras enzimas (ligasas) son explotadas para recombinarlo. Cirujanos de la célula pueden duplicar un gen particular (*cloning*), reintroducir su copia en una bacteria y hacerla producir una proteína específica. En 1979, bacterias recombinadas por la Ingeniería Genética producen insulina.

Las Biotecnologías

Principales desarrollos de la Biología son la Ingeniería Genética, y en general las Biotecnologías.

Ingeniería Genética designa al grupo de nuevas técnicas de investigación que manipulan el DNA como material genético de las células. La técnica de empalme de genes, que produce DNA recombinado, permite transportar genes seleccionados de una especie a otra. Los genes, porciones de moléculas de DNA, son removidos del donante (insecto, planta, mamífero, otro organismo), y empalmado en el material genético de un virus. Éste infecta bacterias recipientes de material viral y genético extraño. Cuando el virus se replica dentro de la bacteria, se producen grandes cantidades del material extraño y del viral. Esta introducción en bacterias de material genético extraño es herramienta importante para el estudio de la estructura y la regulación del gen. Su riesgo es que algún material genético deje de estar bajo control natural. La bacteria recipiente en uso es una forma modificada de *E.coli*, habitante natural de los intestinos humanos. Otras técnicas incluyen la fusión de células, que posibilita el mapeado de los genes humanos, y el trasplante nuclear, valioso para el estudio de los factores que controlan el desarrollo embriológico.

Además de los decisivos avances de la Biología en el nivel de la conducta de moléculas individuales, se ha progresado en la *Etología*, la investigación de la conducta de los animales, en especial los primates, por estudios en zonas salvajes de sus aspectos fisiológicos, ecológicos y evolutivos, y de las interacciones entre respuestas determinadas por lo ambiental y por lo genético. Etólogos y ecologistas han usado las *Matemáticas* para describir la conducta estadística de las comunidades de animales y para explicar el altruismo y otros rasgos, sobre todo en

relación con la emergencia de una pretendida nueva disciplina, la *Sociobiología*. Aplicación de la Teoría de la Evolución al estudio de las conductas animales y humano-sociales, aquella sostiene que los patrones de comportamiento están genéticamente determinados y son gobernados por el proceso de selección natural. Estas teorías han sido usadas para explicar más o menos satisfactoriamente el altruismo animal y la conducta reproductiva y de provisión de alimentos. Han sido muy controvertidas cuando se aplicaron a la conducta humana en áreas como la agresividad, las diferencias de género, la selección de pareja, el comportamiento parental, y más aun cuando se ha intentado inferencias más generalmente sociales y políticas.²⁷

El más notable desarrollo en Biología se corresponde con las *Biotecnologías*, que permiten explotar, con fines industriales, el conocimiento biológico, las potencialidades de los microorganismos (bacterias, levaduras, hongos) y las células animales y vegetales. Ello incluye más particularmente, con la Ingeniería Genética, las técnicas de creación de nuevos productos diseñados a la medida, como alimentos, medicamentos, fertilizantes y pesticidas, ganado genéticamente mejorado, terapias para reparación de defectos genéticos.²⁸

El avance de las Biotecnologías, como el de la Biología en general, en los marcos de la mutación identificada con la Tercera Revolución, se beneficia con una combinación de condiciones. Una interpenetración de técnicas tiene efectos *sinérgicos*, de modo tal que el avance en un dominio científico o tecnológico abre nuevas posibilidades en dominios conexos.

Así, como se verá, el estudio por la *Microbiología* de los *microrganismos* (bacterias, virus, hongos filamentosos, levaduras, algas unicelulares) ha revelado las posibilidades de combinación de su aptitud para las grandes velocidades de metabolismo y reproducción, del tamaño microscópico, para el logro de productividades extraordinarias (una tonelada de masa microbiana en 60 horas) con temperaturas moderadas y el poco gasto consiguiente de energía. Las fermentaciones y bioconversiones explotan estas cualidades, usando un microorganismo para el

27 Ver Edward O. Wilson, *Sociobiology*, 1975; W. J. M. Mackenzie, *Biological Ideas in Politics*, Penguin Books, 1978.

28 Ver Pierre Douzou, Gilbert Durand, Philippe Kourilsky, Gérard Siclet, *Les biotechnologies*, París, Presses Universitaires de France, 1983; *Nouvelles technologies et propriété-Actes du Colloque tenu à la Faculté de Droit de Montréal les 9 et 10 Novembre 1989*, Montréal, Les Éditions Thémis, 1991, especialmente "Deuxième partie - L'appropriation du vivant"; *Biología - Transformación productiva y repercusiones sociales*, número de *Sociológica*, México, Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Azcapotzalco, año 6, núm. 16, mayo-agosto 1991.

logro de un producto específico. La fermentación usa las capacidades de crecimiento y multiplicación. Las bioconversiones logran *in vitro* reacciones químicas más eficaces que la síntesis química “natural”. El gene insertado se expresa en el organismo viviente, controla la síntesis de ácidos aminoados o proteínas. Se puede combinar en vivo la información genética de microorganismos.

La Informática contribuye a las posibilidades, logros y sinergias, como instrumento de investigación, de recolección y análisis de datos, de archivo; con la modelización, la optimización en términos de moléculas, átomos. Las operaciones y los progresos se realizan cada vez más en términos de moléculas, átomos, en tiempo real, al picosegundo electrónico. Ello trae aparejada una creciente necesidad de ingenieros especializados en control.

Las Biotecnología son resultado, expresión y componente de crecientes capacidades de *dominación y explotación de los fenómenos vivientes*, y de *manejo del tiempo*. Con estas tecnologías se puede, por una parte, vencer al tiempo con su aceleración, producir más rápido, liberarse de largas operaciones de selección basadas en los ritmos naturales, suprimir etapas intermedias de fabricación, aumentar consiguientemente la productividad. A la inversa, es posible también fijar el tiempo, conservar y proteger entidades vivientes y necesarias para la vida durante periodos más largos, o incluso indefinidamente.

Las investigaciones y realizaciones en el dominio de la vida traen consigo una inflación de informaciones que posibilita la manipulación del tiempo en un doble sentido, de freno o de aceleración, pero siempre en favor de la productividad. Los bancos y bases de datos almacenan un creciente flujo de informaciones (materiales e inmateriales) y las perpetúan, pero pueden también tratarlas rápidamente y a distancia. Nuevos sistemas expertos (médicos, agrícolas) integran conocimientos de varios especialistas y permiten acelerar los análisis y los diagnósticos de enfermedades humanas o vegetales. Bancos de semillas vegetales, de embriones y de esperma conservan un patrimonio genético elaborado en milenios por la naturaleza.

Las implicaciones abarcan cada vez más a las industrias agroalimenticias, la farmacia, la química, la energía, la agricultura, todo ello a través de la Ingeniería Fermentaria, la Enzimología, la Recombinación Genética.

Conocida desde una remota antigüedad, *v. gr.* en la producción de vino, cerveza, queso y pan, la *Ingeniería de la Fermentación* o *Fermentaria* transforma una sustancia orgánica (azúcar, petróleo) bajo la influencia de un fermento (enzima), para recoger los microorganismos

mismos (levadura de panadería), o un subproducto de la reacción (alcohol, antibióticos). Con los avances en Biología Genética, se dan los procedimientos de producción por fermentación y la consiguiente domesticación de los microbios para la explotación de su productividad industrial. A ello se debe la producción de acetona sintética; insulina, antibióticos, penicilina, medicamentos varios, hormonas, vitaminas; enzimas, ácidos aminados. También, levaduras, fermentos lácticos, queso, pan, cerveza. Se espera en el futuro la producción por microorganismos de medicamentos y de energía: fabricación de metano a partir de residuos agrícolas; la digestión y desintoxicación de los contaminantes industriales; la extracción de metales desde los minerales.

La mejor explotación de microorganismos retroactúa en favor de la evolución de las técnicas fermentarias, adaptadas ahora a la multiplicación de células superiores (vegetales o animales)

La Ingeniería Fermentaria realiza concretamente los beneficios de la Genética Molecular que a su vez aprovecha la ciencia y técnica de la *Enzimología o Ingeniería Enzimática*, como estudio y aplicación de catalizadores orgánicos, solubles y coloidales, producidos por organismos vivos, capaces de funcionar fuera de la célula.

Las *enzimas* son proteínas macromoleculares que funcionan como un catalizador biológico de considerable poder, provocando o acelerando reacciones químicas en los organismos vivos y en productos orgánicos. Las enzimas aceleran, a menudo por varios órdenes de magnitud, reacciones químicas en la célula que en su ausencia se producirían imperceptiblemente o de ningún modo. La enzima no es modificada permanentemente por su participación. La mayor parte de las enzimas tienen gran especificidad, reaccionan con un solo o con un pequeño grupo de componentes químicos estrechamente relacionados. Así, por una parte, la gran especificidad de acción limita la formación de productos anexos no deseados y el costo de separación entre el producto buscado y los otros. Por la otra, se necesita a veces, varias enzimas para una eficiente función catalítica. Se ha identificado unas mil variedades de enzimas.

Los procedimientos enzimáticos son empíricamente conocidos a través de una larga experiencia milenaria, como el uso de levadura para la fermentación del pan. En sus aplicaciones actuales, se busca explotar la capacidad catalítica, altamente poderosa y específica, de enzimas producidos por extracción o fermentación. Estos procedimientos son especialmente adecuados para el tratamiento en volúmenes industriales, en sectores importantes del maíz, la remolacha, la leche; quizás también

el azúcar para proveer innumerables sustancias; los provenientes del petróleo. Se dan también avances en los procedimientos de fijación de enzimas sobre o dentro de soportes sólidos, como vidrios o cerámicas, para una producción continua, sin pérdida de costosas proteínas, ni temor de contaminación.

La *Recombinación Genética* parte del hecho que todo microorganismo (bacterias, virus, levaduras, hongos, célula humana) tiene un código genético, cuyos fragmentos asumen funciones precisas. El injerto de un subprograma tal en el código de un microorganismo receptor reprograma a éste de modo que adquiere una capacidad de *biosíntesis* que no tenía antes. Es así posible disponer de productos que no se obtenían por procedimientos clásicos, ya sea por imposibilidad técnica o científica, o por costos exorbitantes. Una multitud de refinamientos técnicos permiten esperar el logro de potencialidades más prometedoras y quizás ilimitadas.

El avance de la *Microbiología* en el conocimiento de las facultades reproductivas de los microorganismos abre también posibilidades de *cultivo y fusión* de células humanas, animales y vegetales. Con ello, la obtención de vacunas virales y del interferon; la producción *in vitro*, a partir de una célula de planta, de grandes cantidades de plantas idénticas a la madre, sin enfermedades; el logro de híbridos.

Las biotecnologías se abren a un abanico de *aplicaciones* actuales y futuras: Agricultura, Agroalimentación, Medicina, Química.

En la *Agricultura* se puede disponer de crecientes posibilidades con las semillas, nuevas variedades con mejores rendimientos (trigo, maíz, arroz, soya, tomate, caña de azúcar, algodón). Se ensaya el aislamiento de genes de variedades de leguminosas fijadoras del azoe atmosférico, para introducirlos en células de plantas productoras de cereales, y suprimir así las necesidades de abonos azoados. Se busca crear o mejorar especies vegetales, modificar su resistencia a las agresiones del medio ambiente (enfermedades, herbicidas, agua salobre, aridez y sequedad, temperaturas extremas).

Las técnicas de inseminación artificial permiten transferir las características genéticas de un toro de concurso a decenas de millares de vacas, con selección de los patrimonios genéticos del macho y de la hembra. Las técnicas de transferencia genética podrían trastornar la ganadería tradicional, *v. gr.* con la hiperactivación del gene de la hormona del crecimiento, la posibilidad de especies animales gigantes, el consiguiente redimensionamiento del sector. En la producción de vegetales, con la generalización de los trabajos de multiplicación *in vitro*, la superficie

del suelo dejaría de ser indispensable, abriendo el camino a una agricultura sin tierra, y a una desmaterialización de la producción de lo viviente.

En *Agroalimentación* progresan las técnicas que prolongan la vida de las sustancias: frío industrial; temperatura ultra-alta; esterilización por micro-onda o irradiación; embalaje al vacío; conservación química. Las nuevas técnicas de producción y conservación, permiten obtener nuevos productos alimenticios, v. gr. en la industria de lácteos, sopas deshidratadas, café soluble, alimentos congelados, vinos, quesos; restauración rápida (*fast foods*). Los catalizadores bioquímicos permiten obtener azúcar a partir del maíz.

Las Biotecnologías contribuyen decisivamente a la aceleración y complejización crecientes en el desarrollo de un *complejo e industria de la Agroalimentación*,

El *complejo agroalimenticio* comprende el sector agrícola, el sector de las industrias de bienes intermedios y de bienes de transformación de los productos agrícolas, estén o no destinados a la alimentación, y el sector de la distribución (mayoristas, minoristas especializados, sociedades mercantiles modernas, empresas de restauración colectiva, etcétera). Complejo e industria agroalimenticios han llegado a tener un papel altamente significativo en las estructuras de las economías nacionales, y sobre todo y cada vez, más de la economía mundial, pero también con crecientes implicaciones de política, diplomacia y estrategia, v. gr. uso de los alimentos como arma, dilema especialización autárquica vs. integración en la división internacional del trabajo.²⁹

Bajo el impacto y estímulo de los “choques petroleros” de los años 1970 y otras crisis, y la consiguiente necesidad de replanteo de visiones, ideas y prácticas, y de aplicación de nuevas soluciones, así como de otras preexistentes pero desdeñadas (frenos económicos, psicológicos, socioculturales), las Biotecnologías y la Química encuentran sus aplicaciones también en la *gestión de la energía, las materias primas y otros recursos (aire, agua), y sus modos de producción, de uso y de consumo*. La optimización del consumo es inseparable de la optimización de la producción.

La Tercera Revolución crea en materia energética una situación de hiperopción técnica, la disponibilidad de un gran número de soluciones técnicas, a partir de fuentes renovables y no renovables. Las fuentes de

29 Ver Jacques Bombal y Philippe Chalmin, *L'agro-alimentaire*, París, Presses Universitaires de France, 1980; Dan Morgan, *Merchants of Grain*, Penguin Books, 1980; Gérard Garreau, *El negocio de los alimentos - Las multinacionales de la desnutrición*, México, Nueva Imagen, 1980.

energías no renovables incluyen las provenientes del agua y el viento; la geotermal (calor liberado naturalmente en *geisers* y volcanes); de las mareas marinas; la solar (almacenada y usada directamente como calor, o transformada en electricidad mediante células fotovoltaicas); la *biomasa*.

Subproductos y desechos de industrias agroalimentarias, forestales, agrícolas, pueden ser valorizados bajo forma de energía, como *carburos de biomasa*, y contribuir así a la disminución de la contaminación ambiental. La producción de *etanol* a partir de la combinación de gasolina con rassa de maíz y con caña de azúcar, la consiguiente disponibilidad de un combustible que se puede utilizar en el parque automotriz actual, se vuelve una realidad industrial a partir del “segundo choque petrolero”, y se utiliza en Estados Unidos, Brasil, y otros países. Más aún, todas las síntesis de la Química Orgánica son realizables a partir de la biomasa. Sin embargo, la producción de etanol a partir de la biomasa no llega a ser rentable, frente a la de los procedimientos petroquímicos y dada la evolución del precio de los hidrocarburos. Esta *bioindustria* se sostiene sólo con subsidios del Estado, justificados sobre todo por la regulación de los mercados de azúcar y de maíz o por la existencia de grandes excedentes. Por ahora, el precio del petróleo sigue siendo el criterio de competitividad del etanol.

La producción por fermentación del metano, el etanol, la acetona butanol, por el contrario, promete constituir una red estratégica para la sustitución del petróleo en usos químicos y carburantes; ofrece apoyo energético a empresas agrícolas, industriales y municipales, y favorece la eliminación de desechos. También va adquiriendo importancia la aceleración del proceso de degradación de hidrocarburos mediante bacterias: *v. gr.* para la descontaminación de los medios marinos o lacustres, la valorización de capas pesadas, la desulfuración de hidrocarburos, la destrucción biológica de productos tóxicos usados como herbicidas.

A la diversificación de fuentes de energía se agregan los esfuerzos e innovaciones tendentes al uso más racional y eficiente de energías y materias primas, por razones económicas de productividad y rentabilidad, de conservación de recursos y de protección ambiental.

Las Biotecnologías, especialmente la Ingeniería Genética, han ido abriendo perspectivas, ofrecido posibilidades, pero también sugerido peligros y suscitado una gama de interrogantes, sobre todo de tipo ético, jurídico, político, y luego también ambiental, en cuanto al impacto de las ciencias biológicas y médicas sobre el individuo, los grupos, la

sociedad y el sistema político. La manipulación del material genético implica tocar la esencia de lo humano, ya sea directamente, ya a través de la influencia sobre el medio ambiente.³⁰

La multiplicación de inquietudes y resistencias públicas se ha manifestado en las constataciones de vacíos jurídicos y demandas de regulación y control, las propuestas de moratoria genética, las suspensiones judiciales de investigaciones. Las reacciones y exigencias de científicos, gobiernos, grupos de defensa de los consumidores y del medio ambiente, han obstaculizado el paso de los hallazgos de las Biotecnologías a la realización industrial. Unido ello a los azares y riesgos de la investigación y al costo del desarrollo, se ha mantenido una cierta desconfianza de inversores y empresas. Las Biotecnologías no han dejado sin embargo de progresar, sobre todo en algunos de los principales países desarrollados.³¹

Estados Unidos, Japón, Francia, son los países en que las investigaciones han avanzado más, en compromiso de empresas y en desarrollo industrial. El desarrollo de las Biotecnologías parece requerir la convergencia de requisitos y condiciones favorables: dimensión del mercado, necesariamente mundial, en adecuación a los altos costos y grandes inversiones, y las consiguientes exigencias de rentabilización; poder industrial y financiero de los grupos inversores, químicos y farmacéuticos; adecuada articulación investigación-producción industrial; interés y apoyo gubernamentales.

Las empresas biotecnológicas son parte de un esquema de división del trabajo, con dos grandes ejes. Uno, el de grandes compañías químicas, farmacéuticas y de alimentos, que asumen los riesgos y costos de una producción y una comercialización de muy altos requerimientos en equipos y financiamientos. El otro eje, el de las pequeñas empresas especializadas en la investigación y la innovación tecnológicas. La tendencia es sin embargo a la eliminación o la absorción de numerosas sociedades pequeñas por las macroempresas (farmacéuticas, agroalimentarias, petroquímicas), hacia la imposición de cerrojos a los mercados existentes o a corto plazo, por un número restringido de acuerdos industriales, entre actores con posición actualmente fuerte

30 Ver Álvaro Bunster, Primera parte: "La biotecnología como problema social y jurídico" y segunda parte: "El producto de la ingeniería genética y su régimen de apropiación", en Marcos Kaplan (Coordinador), *Revolución tecnológica, Estado y derecho*, México, Instituto de Investigaciones Jurídicas/UNAM y Petróleos Mexicanos, 1993, tomo 3.

31 Ver F. Gros *et al.*, *Sciences de la vie...*, cit. quinta parte; Watson Fuller, ed., *The Social Impact...*, cit., parte seis.

de Estados Unidos, Japón y Europa, y hacia una proliferación de acuerdos de investigación-desarrollo a mediano o largo plazo.

7. MEDICINA Y SALUD

De modo a la vez paralelo y entrelazado respecto al avance de la *Biología Genética*, se van dando notables progresos en *Bioquímica* y en la contribución de ambas a una mejor *Medicina*.

Se producen por una parte innovaciones en el campo de la Medicina en sentido estricto, con poca o ninguna contribución de la Biología.

Nuevas técnicas y equipos de análisis y diagnóstico buscan combinar el funcionamiento en tiempo real y la interactividad, v. gr. mediante la convergencia de la Informática, los rayos laser y la dinámica de fluidos.

Las nuevas técnicas, en constante progreso, permiten combinar la exploración y la imaginería médicas. Los aparatos incluyen, además de los tradicionales Rayos X, los *scanners* como el *CAT Scan*, o *Computerized Axial, Tomography*. Esta técnica radiológica permite un análisis cada vez más fino y dinámico, y un diagnóstico seguro, indoloro y rápido en áreas previamente inaccesibles del cuerpo (cerebro, médula), ha revolucionado el diagnóstico en Neurología y Cancerología. El operador puede ver células vivientes y sus divisiones, determinar su superficie, diámetro, trayectoria y velocidad, analizar automáticamente las biopsias, almacenar imágenes y sus parámetros.

La técnica del *ultrasonido* usa ondas sonoras para estudiar áreas corporales de difícil acceso, con variados usos: en Obstetricia para estudiar el feto; en Cardiología para percibir daños cardíacos; en Oftalmología para descubrir problemas de retina, evitando posibles riesgos (hemorragia, infección, reacciones a sustancias químicas) de otros métodos de diagnóstico. *Amniocentesis* y otros métodos permiten diagnosticar y tratar el feto.

Los avances de la *Cirujía* se dan con los métodos de transfusión de sangre, los ya citados de diagnóstico, los antibióticos y otras *quimioterapias*, la Micro-Cirujía. Con el desarrollo de los *transplantes*, un tejido u órgano es removido y reemplazado por una parte correspondiente. Ello incluye transplantes que usan tejido (piel, hueso, cartílago) del propio cuerpo del paciente, y los que implican el reemplazo con órganos vitales (corazón, riñón) del cuerpo de otro individuo. El avance de la *Ingeniería Biomédica* ha posibilitado la implantación de partes artificiales en el cuerpo, incluso un corazón artificial permanente, y se realizan

cada vez más investigaciones para el desarrollo de órganos completamente artificiales.

Después de 1945 se prolonga y amplifica el desarrollo de la *Endocrinología* como conocimiento del sistema de control corporal compuesto por un grupo de glándulas (pituitaria, tiroides, paratiroides, adrenales, timo, páncreas, ovarios, testículos), que mantienen estable el medio ambiente interno mediante la producción de sustancias químicas reguladoras, las *hormonas*.

La Medicina del siglo XX se ha ido caracterizando por una creciente comprensión de la *Inmunología*, el estudio de la resistencia de los organismos a la infección, la conducta de organismos patógenos, los factores que capacitan al cuerpo para la resistencia a la infección, y las medidas defensivas usadas por los organismos para combatir a los patógenos invasores. El progreso en la investigación de la *inmunidad* como capacidad de un organismo para resistir la enfermedad mediante la producción de anticuerpos, va revelando una red crecientemente compleja de células y proteínas interactuantes, constitutiva del *sistema inmunológico*, hasta encontrarse con el desafío representado por el SIDA como enfermedad que destruye dicho sistema.

Con estos desarrollos se relaciona la invención de los *anticuerpos monoclonales*, moléculas que pueden ser dirigidas a un receptor específico, como la parte de otra molécula, descubrir su presencia y unirse a él.

Desde los años de 1940, se dan el desarrollo y la amplia aplicación, de la penicilina, la estreptomina y otros antibióticos. Se investigan los problemas de resistencia de las bacterias mutantes. Se registran los resultados producidos por antibióticos y otros medicamentos, con más éxito que en describir el modo efectivo de su operación. Se descubre el riesgo de los efectos *iatrogénicos*, producidos por el mismo tratamiento.

Las técnicas de Ingeniería Genética proporcionan aplicaciones directas. La Microbiología permite elaborar antibióticos, vacunas esteroides. La Ingeniería Genética hace disponibles proteínas para enfermedades, como insulina humana, somatostatina, hormonas de crecimiento, interferón, interleukin 2, un solvente de coágulos sanguíneos; anticuerpos monoclonales; vacunas artificiales; mejores capacidades para conjunción de tejidos en trasplantes.

La píldora anticonceptiva, —que estimula actitudes menos restrictivas hacia la sexualidad y hacia las actividades de mujeres en la sociedad—, actúan contraceptivamente pero alteran el equilibrio hormonal.

Se dan también avances notables en la *Psiquiatría*, para el diagnóstico y el tratamiento de las enfermedades mentales, incluidas las variedades de neurosis y psicosis, y con técnicas modernas como la Psicoterapia y el Psicoanálisis. Las técnicas de la *Psicoterapia* enfatizan la relación interpersonal entre el terapeuta y el paciente y requieren algún compromiso de éste con el procedimiento. Se trata de ayudar a los pacientes a examinar sus propias ideas sobre ellos mismos y sus vidas, y se puede reducir el tratamiento a un individuo, a una familia o a un grupo.³²

Dentro del avance de la Psicoterapia se incluye la de una de sus variedades más influyentes, el psicoanálisis freudiano, la terapia de modificación de conductas, y la psicoterapia de grupo. El *Psicoanálisis* parte del postulado de la existencia de un inconsciente dinámico que influye sobre toda acción, pero obra con material no sujeto al recuerdo por procesos normales. El llamado olvido es considerado por Freud como resultado de la represión. Los mecanismos de defensa y una variedad de reacciones inconscientes son usados por los individuos para satisfacer necesidades emocionales, como la armonía entre objetivos conflictivos, la reducción de ansiedades resultantes de deseos inaceptables, la modificación de la realidad para hacerla más aceptable. Mecanismos de defensa son: la represión, el cierre del paso de ideas inaceptables a su entrada en la mente consciente; el desplazamiento; la liberación de impulsos peligrosos mediante una situación sustitutiva o mediante una actividad disfrazada; la sublimación como mecanismo constructivo que reorienta la energía sexual hacia fines socialmente valiosos. El reconocimiento consciente de experiencias reprimidas es piedra angular de la terapia psicoanalítica, que incluye instrumentos terapéuticos como la libre asociación, la interpretación de los sueños.

El Psicoanálisis de Freud y seguidores desarrolla también una teoría de la psique humana, con énfasis en el papel de los instintos de vida y de muerte, que pueden equilibrarse en un individuo bien ajustado, o producir neurosis. También, una teoría de la personalidad humana, que es dividida en tres partes: el *id*, depósito de los impulsos instintivos inconscientes, dominado por el principio del placer y deseoso de gratificación instantánea; el *superego*, censor interno o conciencia; el *ego*, mediador entre el *id*, el *superego* y las demandas de la sociedad o realidad.

32 J. A. C. Brown, *Freud and the Post-Freudians*, Penguin Books, 1976.

Igualmente notables son los avances de la Psiquiatría en la administración de sustancias químicas o drogas. La *Quimioterapia* aplicada a la mente obtiene logros en el alivio a los principales síntomas de desorden mental; en el alivio o la cura de las condiciones más comunes de tensión y ansiedad. También demuestra sin embargo, capacidades para el condicionamiento de pensamientos y conductas, por estimulantes, antidepresivos y tranquilizantes. Ello se vuelve fuente de interrogantes sobre las implicaciones culturales y políticas de los avances científicos. La Quimioterapia provee medios de contenido, pero puede ser también causa de anomalías orgánicas y psíquicas de signo deshumanizante. El insuficiente conocimiento del funcionamiento del cerebro y del sistema nervioso central, y de los límites entre la causación física y psicológica, impide o invalida las respuestas tranquilizadoras a los interrogantes.

El desarrollo de una creciente especialización, de una también creciente complejidad en las tecnologías de diagnóstico y terapia, la explosión de las necesidades y demandas en materias de salud individual y colectiva, plantean a la Medicina agudos problemas, sobre todo dilemas en la asignación de recursos humanos y de capital, en el financiamiento de costos, en los relativos papeles y funciones del Estado y del sector privado, sus respectivos programas, estructuras organizativas y regímenes jurídicos.

8. HACIA UNA CIENCIA DE LA TIERRA

Los esfuerzos desde 1945 por la constitución de una Ciencia de la Tierra continúan en parte tendencias preexistentes, y en parte dan lugar a nuevos desarrollos.

La *Geología* desarrolla la idea de que la corteza terrestre fue quebrada en un número de grandes placas que se mueven unas en relación a otras de acuerdo a patrones determinados. Ello explicaría las ubicaciones de muchos terremotos, volcanes, líneas montañosas, trincheras y fracturas en el suelo oceánico. La *Paleontología* es tratada cada vez más, no sólo como el estudio de antiguos seres vivientes, sino como parte de la Ciencia de la Tierra.

En la *Meteorología*, las predicciones sobre los estados del tiempo mejoran por la contribución de los datos aportados por satélites, radares, mejores computadoras y programas. El estudio de los cambios a largo plazo crean una creciente preocupación por las modificaciones que los gases liberados por la actividad humana van produciendo en la atmós-

fera. El llamado “efecto invernadero” puede elevar mundialmente las temperaturas como resultado del carbón dióxido y otros gases que atrapan el calor en la atmósfera, del mismo modo que lo hacen las paredes y techos de vidrio de un invernadero. También, se reduce o pierde la capa de ozono que protege la vida de excesiva radiación ultravioleta, a causa de los gases que catalizan al ozono, molécula de oxígeno de tres átomos, hacia el oxígeno ordinario con moléculas de dos átomos. El descubrimiento y la investigación de estos fenómenos y procesos van convergiendo y entrelazándose con otros emergentes o en vías de aceleración en otros aspectos y niveles del orden natural y del social, para producir las reacciones y movilizaciones individuales y colectivas que dan nacimiento a la vez a la Ecología como nueva ciencia, y a los movimientos ambientalistas como expresión política.

Desde fines del siglo XIX van apareciendo, en países como Estados Unidos, las primeras modalidades de la *conservación* como restricción deliberada y gestión racional, —por razones predominantemente económicas— del uso humano de recursos naturales valiosos (madera, pesca, caza, humus, pastajes y minerales), y como preservación de bosques y vida salvaje, parques, aguas. Desde la presidencia de Theodore Roosevelt en los Estados Unidos se van desarrollando el movimiento y la política de *conservacionismo* como parte de un enfoque total respecto al uso de recursos naturales, dando origen a una legislación al respecto.

En las décadas de 1960 y 1970, los crecientes problemas de contaminación, mengua de recursos energéticos, peligros de pesticidas, de radioactividad de las plantas nucleares, armamentismo atómico y aniquilamiento colectivo, inquietan y movilizan a millones de personas. Los movimientos juveniles desde fines de los años de 1960 incorporan preocupaciones explosivas sobre ciertos rasgos de la sociedad de masas, como el ruido, la concentración poblacional, la polución del aire y del agua, la despiadada explotación de recursos naturales, la destrucción de especies.

A estas manifestaciones subyacen, y en ellas se incorporan, grandes interrogantes sobre las premisas y tesis del Iluminismo respecto a la simbiosis entre el progreso intelectual y cultural y el mejoramiento de la civilización en general, a la continuidad o identidad entre la conquista científica y el bienestar social. Se sospecha que los científicos ven a la Humanidad y a la Tierra sólo como objeto de dominación y explotación, depósito de materias primas para experimentos cada vez más ingeniosos, sin ganar conciencia de sus responsabilidades hacia una y otra. Se van multiplicando así las demandas y presiones para considerar el *medio ambiente* como un sistema general de relaciones delicadamente entre-

lazadas, y para restringir los supuestos avances que perturban severamente el equilibrio del conjunto, y pueden llegar a destruirlo.

En Estados Unidos y otros países desarrollados, la proliferación de *movimientos ambientalistas* va de la mano con el desarrollo y difusión de un concepto más amplio de conservación de la tierra misma, a partir y a través de la protección de la capacidad de autorrenovación de aquélla; de la emergencia de la *Ecología* como nueva ciencia, y de una legislación inspirada por aquélla.

La *Ecología* es el estudio de las interrelaciones de organismos y ambiente físico. La *Biosfera* es definida como envoltura del aire, el agua y la tierra del planeta, sistema cerrado y autorregulado en que existen seres vivientes. Dentro de la Biosfera, la unidad básica de estudio es el *ecosistema*, comunidad de plantas y animales en un medio ambiente que provee las materias primas para la vida, elementos químicos (alimentos) y agua. Un ecosistema es delimitado por las características del clima, la altitud, la latitud, el agua y el suelo, y por otras condiciones físicas. La energía para alimentar las actividades vitales llega a la tierra en forma de luz solar. Por fotosíntesis, las plantas verdes capturan la energía de la luz y la almacenan en los nexos químicos de los carbohidratos, grasas y proteínas. Parte de la energía es adquirida por animales herbívoros, y una fracción de ella pasa a los animales predadores. Tales secuencias o cadenas alimenticias, se traslapan en muchos puntos. Una vez gastada, la energía para la vida no puede ser reproducida excepto por nueva exposición de las plantas verdes a la luz del sol. Las sustancias químicas de la vida son continuamente recicladas por procesos como la fotosíntesis, la respiración, la fijación del nitrógeno. La perturbación de estos ciclos por causas naturales como la sequía o artificiales como la polución, pueden alterar el equilibrio de un ecosistema. Un determinado ecosistema puede alcanzar un estadio estable y autoperpetuado, o *comunidad culminante* que, si llega a ser extenso y bien definido, es llamado un *biome*; ejemplos: la tundra, la sabana, el desierto, el bosque. La estabilidad es alcanzada por un proceso de *sucesión*, por el cual una comunidad relativamente simple (líquenes, rocas cubiertas de algas) da lugar en el tiempo a otra más compleja (bosque, tundra).

Los movimientos ambientalistas, y la afirmación científica y difusión pública de la Ecología contribuyen al surgimiento y enriquecimiento de legislaciones e instituciones protectoras (*cf. infra*).

Las vastas posibilidades del océano en términos económicos, industriales, político-diplomáticos y militares, y las consiguientes incitaciones a la investigación y el desarrollo, estimulan los avances de la *Oceano-*

grafía. Ella estudia integradamente las aplicaciones marinas de la Geografía, la Geología, la Física, la Química, la Biología Marina, la Ecología, la Meteorología.

El estudio comprensivo del mar comienza con la expedición británica del Challenger en 1872-1876. Actualmente se cuentan por centenares las instituciones oceanográficas, concentradas en Estados Unidos y países industrializados. La Oceanografía tiene hoy un crecimiento explosivo, determinado por su importancia para la navegación marítima, las pesquerías, la exploración y explotación de hidrocarburos y yacimientos minerales, el tendido de cables telegráficos, los estudios climatológicos, la agricultura submarina, la marina mercante y de guerra. El número de oceanógrafos vivos y ocupados se duplica más rápido que cualquier otro sector de la ciencia, cada cuatro años.

El desarrollo de la Oceanografía es alimentado por actividades como el batiscafo Trieste que en 1960 desciende a la mayor profundidad oceánica, 12,000 metros en la Trinchera de las Marianas; o el *Deep Sea Drilling Project*, programa de los Estados Unidos, comenzado en 1964, para investigar la evolución de las cuencas oceánicas, mediante la perforación y el estudio de núcleos de sedimentos oceánicos y de la corteza oceánica subyacente. El programa usa el Glomar Challenger, un barco elaboradamente equipado, capaz de perforar a través de grandes profundidades acuáticas.