

29 218



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

ORIGENES Y REPERCUSIONES SOCIALES DE LA INGENIERIA GENETICA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
B I O L O G O
P R E S E N T A ;
EDNA MARIA SUAREZ DIAZ

DIRECTOR DE TESIS,
DRA. ANA BARAHONA E.

MEXICO, D. F.

1989

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



OCT 20 1989



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

C O N T E N I D O

	Pág.
Introducción.....	1
Capítulo I. El Secreto de la Herencia Biológica: El DNA	
1.1 Estructura y funciones autocatalíticas del DNA.....	9
1.2 Las funciones heterocatalíticas del DNA.....	20
1.3 Las proteínas o moléculas "ejecutoras" de las instrucciones genéticas.....	39
1.4 La revolución en la tecnología de la ingeniería genética.....	41
Capítulo II. Repercusiones Sociales de la Biotecnología	
2.1 Aplicaciones recientes de la Ingeniería Genética en diversas ramas de la producción.....	45
2.1.1 Agricultura.....	45
2.1.2 Ganadería.....	49
2.1.3 Industria Alimentaria en general.....	49
2.1.4 Medicina.....	51
2.1.5 Industria Química.....	53
2.2 Repercusiones de la Biotecnología en el Proceso de Trabajo.....	56
2.2.1 Producción.....	56
2.2.1.1 Materias Primas.....	56
2.2.1.2 Medios.....	58
2.2.1.3 Productos de la Biotecnología.....	59
2.3 Repercusiones Ecológicas y de Seguridad de la Ingeniería Genética (Bio-riesgo).....	60
2.3.1 El Debate.....	60
2.3.2 Los riesgos de la Ingeniería Genética, aquí y ahora.....	64
2.3.3 El movimiento alternativo ecologista.....	67

Capítulo III. Condiciones Histórico/Capitalistas del Surgimiento y Desarrollo de la Biología Molecular.....	71
3.0 Introducción.....	71
3.1 Financiamiento.....	72
3.2 La Guerra y las Enfermedades como propulsoras de la Biología Molecular.....	74
3.3 La Reducción de la Biología a Biología Molecular como Producto del Capitalismo.....	77
Conclusiones.....	85
Apéndice "Quién es quién en la Ingeniería Genética.....	93
Notas y Bibliografía a la Introducción.....	104
Notas y Bibliografía al Capítulo I.....	106
Notas y Bibliografía al Capítulo II.....	114
Notas y Bibliografía al Capítulo III.....	120
Notas y Bibliografía a las Conclusiones.....	124
Notas y Bibliografía al Apéndice.....	126

INTRODUCCION

La Revolución Industrial inglesa del siglo XVIII es, a pesar de los numerosos intentos por delimitarla, un fenómeno complejo y múltiple, cuyo origen se resiste a ser enmarcado en un lugar y momento exactos. Su historia podría remontarse, por lo menos, al siglo XV, y en realidad hoy en día continuamos sometidos a sus manifestaciones y efectos derivados. De hecho, y como afirma F. Braudel, el término "revolución" tiene una significación ambigua en lo que respecta a la "larga" o "corta" duración de este tipo de modificaciones sociales globales, y en cuanto a la especificidad de dichas modificaciones!.

Así pues, la afirmación de que hoy en día vivimos una acelerada Revolución Científico-Técnica que involucra principalmente a la robótica, la computación y la ingeniería genética suscita primeramente, la duda acerca del significado correcto de la expresión "revolución industrial" y, en segundo término, la pregunta de si esta nueva "revolución" de finales del siglo XX es independiente de la del siglo XVIII o si, por el contrario, no es mas que su manifestación contemporánea.

Evidentemente no es posible aislar ningún fenómeno histórico pues estos son, precisamente, manifestaciones de la continuidad del quehacer humano en el tiempo que se extiende hacia pasado y futuro. Pero, paradójicamente, también podemos reconocer claras etapas o expresiones específicas de este quehacer humano a lo largo de la historia: momentos bruscos de aceleración social, de rápida sucesión de innovaciones, de vertiginosa modificación de las instituciones y las costumbres, en fin, de cambios veloces en las relaciones sociales y en las fuerzas productivas técnicas y humanas de una sociedad.

Así, la expresión "revolución industrial" se refiere, tanto a la "larga duración" de este fenómeno (hacia el pasado y el futuro), como a su "corta duración" localizada a finales del siglo XVIII. Y sin embargo, con esta afirmación hemos descrito tan solo el hecho contradictorio (o paradójico) de este fenómeno históri-

co, pero no hemos avanzado en lo que se refiere a su explicación o al establecimiento de las "leyes" que nos permitan delimitar tanto a la revolución industrial del siglo XVIII como a la actual revolución científico-técnica.

Curiosamente, la confusión ocurre porque consideramos a estas revoluciones exclusivamente desde el punto de vista de las innovaciones técnicas que ocurren al interior del proceso de producción material, de los meros hechos científico/tecnológicos que se añaden a los más antiguos procesos de trabajo. Por este camino es imposible no ver otra cosa que la continuidad o acumulación gradual y unilateral de los inventos y descubrimientos que se suman uno tras otro y, aunque pretendidamente "materialistas", caemos en una noción falsa y determinista de la historia, que carece de fuerza explicativa al confrontarla con la objetividad histórica.

¿Cuál puede ser, por tanto, el método correcto para acercarse, en este caso, a la Historia de la Tecnología? Es esta una pregunta ambiciosa, quizás "excesiva" para el objeto del presente trabajo. Sin embargo, y dado precisamente el objeto que aquí se persigue, se vuelve necesario encontrar dicho método, que responda a las preguntas originales (el significado verdadero de "revolución industrial" y la especificidad histórica de las revoluciones del siglo XVIII y de la actual). Paradójicamente, quienes se postulan materialistas y marxistas ortodoxos y, debido a ello, exageran la importancia de la revolución en las fuerzas productivas técnicas (F.P.t.) olvidan que esta importancia y relevancia de los fenómenos productivo-técnicos en la reproducción social se adquiere -a fines del siglo XVIII de manera notable- debido a una previa revolución en la esfera de la circulación de bienes, que se gesta muy especialmente desde el siglo XV. El desarrollo del sistema mercantil, es decir, la generalización del intercambio de bienes, produce la autonomización del valor de las mercancías con respecto a su valor de uso y, posteriormente, el "salto" del valor de la esfera de la circulación a la de la producción. Es en este momento, cuando el mecanismo circulatorio del valor impregna la dinámica de la producción, que se hace necesaria primero una sobreex-

plotación de la fuerza de trabajo humana para la obtención de un mayor plusvalor absoluto, y luego la reducción del tiempo de trabajo socialmente necesario en la producción de mercancías con el objeto de obtener una mayor plusvalía relativa y de participar de la plusvalía extraordinaria? La lógica del valor, de la rapidez de los tiempos de producción, de la represión de la calidad por la cantidad de los valores de uso, aprovecha primeramente, por lo tanto, todos aquellos recursos técnicos y conocimientos científicos que gratuitamente le ofrecen las sociedades pretéritas (la "larga duración") y, posteriormente y ante la insuficiencia de estos así como de la dinámica del propio capital que no se adecúa a los viejos modos de producción, se desarrollan unas F.P.t propias del capital (el "tiempo corto"), impregnadas ya desde su contenido por la necesidad lógica, material e histórica del valor de producir más y más valor. Así pues, cuando Engels en 1845 habla de "Revolución Industrial" se refiere a este fenómeno circulatorio/productivo que Marx llamará -con muchísimos más matices y determinaciones que las que aquí cabe exponer- "subsunción real del proceso de trabajo al capital" (SR PT/K), y que tiene una localización histórica variable pero una definición teórico-lógica precisa: es el momento en que el valor, la lógica originalmente circulatoria del valor, impregna el proceso de trabajo y, en especial, a las F.P.t.

Ahora bien, la "revolución científico-técnica" que presenciamos en la actualidad ¿representa, o no, un avance o modificación histórica/lógica comparable a la revolución industrial? ¿Se trata de una "revolución" independiente o de una continuación de aquellas?.

Vimos que, en el caso de la Revolución Industrial del siglo XVIII es la producción la que se ve afectada esencialmente por el desarrollo de la circulación mercantil, si bien posteriormente dichas modificaciones han repercutido en el consumo y han "regresado" a la circulación para modificarla. En el caso de la "Revolución Científico-Técnica" contemporánea, en cambio, ocurre la modificación y el desarrollo de las F.P.t dentro de la producción, lo cual incide sobre la

circulación y el consumo; pero, simultáneamente, se vé a la producción crecientemente respondiendo a los desarrollos de la circulación, el consumo y la cultura -sin perder su preponderancia-, todas ellas esferas de la reproducción social previamente adecuadas a la dinámica del valor y el plusvalor. Así pues, se trata de un fenómeno complejo, de una "revolución industrial desarrollada" que, si bien no altera esencialmente las relaciones de producción y las relaciones sociales todas³, sí amerita el adjetivo de "revolución" debido al gigantesco incremento -actual y potencial- cuantitativo de la productividad material, estrechamente ligado a una serie de nociones, teorías e incluso ciencias completas cuantitativamente innovadoras en lo que respecta a su contenido científico-tecnológico. Hablamos, principalmente, de la robótica, la computación y la ingeniería genética, pero sin olvidar a la física de materiales y las telecomunicaciones.

De manera análoga a los orígenes de la Revolución Industrial, la asombrosa velocidad con que se suceden los descubrimientos en estas ciencias y, sobre todo, sus aplicaciones tecnológicas y comerciales a partir de la década de los setentas, son expresión de un lento y difícil trabajo de investigación básica acumulado a lo largo de todo este siglo y fundado en los desarrollos científicos "clásicos" del siglo XIX. Una segunda determinación de la actual revolución radica en el hecho de expresar el orden económico-político mundial contemporáneo, una vez extendido por todo el planeta el modo de producción capitalista y relocalizados sus focos de mayor desarrollo en Estados Unidos y Japón. Por último, estas nuevas ciencias expresan, de modo más adecuado, las necesidades del capital y el valor; por lo tanto, buscaremos señalar de qué manera se manifiestan más abruptamente las contradicciones esenciales a este modo de producción.

La Ingeniería Genética, que es el caso que nos ocupa, no sólo no escapa a lo anterior, sino que es una de sus más claras manifestaciones. En base a los fundamentos de la química orgánica y la bioquímica del siglo XIX, así como del desarrollo posterior de la biología molecular⁴, en este siglo, se ha convertido en una rama de la producción estratégica para el muy cercano futuro, y por ello

ha visto concentrada su investigación y utilización principalmente en Estados Unidos y Japón.

Es importante señalar, además, que si bien estas nuevas tecnologías (no sólo la ingeniería genética) tendrán amplias repercusiones sociales globales, no se trata -ni genética ni estructuralmente- de una mera "revolución del pensamiento", del conocimiento de la naturaleza.⁵ Esta "revolución" puede serlo -y no está por demás repetirlo porque nace en una determinada situación histórico-económico y cultural, a la que determinamos como "modo de producción capitalista"; y, sin embargo, esta "expresión general" debe ser matizada, profundizada y adecuada para sernos suficiente en la comprensión de un fenómeno tan complejo como el surgimiento y el desarrollo de una "nueva" ciencia. Pero independientemente de todo esto, la mera localización de la ingeniería genética dentro del "modo de producción capitalista" supone ya la aceptación de la teoría materialista de la historia, que, en el estudio de la ciencia -casi como en el arte-, exige un uso y desarrollo no dogmático de sus categorías. De lo contrario, no sólo seríamos incapaces de dar una interpretación histórica adecuada, sino que nos distanciaríamos de lo que esa ciencia en realidad es, de su significado presente y por lo tanto, potencial.

Ahora bien, deseando -quizás ingenuamente- formar parte de un proyecto tan vasto y ambicioso como el de una Historia Crítica de la Tecnología,⁶ el presente trabajo busca, al menos, demostrar la tesis general de que una interpretación global, matizada y no dogmática del materialismo histórico puede dar cuenta de un fenómeno o producto social específico. Esta tesis general puede, por lo tanto, subdividirse en las siguientes tesis particulares, correspondientes a tres de las afirmaciones básicas o fundamentales de la teoría materialista de la historia:

a) La ciencia es un producto histórico-social, es decir, es producida dentro de determinadas formas de relación humana que, a su vez, dependen del grado de desarrollo alcanzado por las capacidades y necesidades (desarrollo de las F.P.)

en un cierto momento histórico. La sociedad, las relaciones entre los hombres, no han permanecido fijas a lo largo de la historia. Cada sociedad tiene una cierta especificidad histórica una conformación particular de sus relaciones generales, de sus costumbres, leyes, instituciones, etc. Asimismo, la ciencia natural y los desarrollos tecnológicos fruto del esfuerzo y de la creatividad humana no tienen por qué ser excepción: se trata también de productos históricos-sociales localizables en un espacio-tiempo que los determina, aún en su pretendida "objetividad". Los conceptos, leyes y métodos científico-naturales revelan, tanto en su forma como en su contenido, las necesidades materiales y el pensamiento humano determinado por la condición socio-histórica.

b) A su vez, la ciencia y la tecnología son condición material-cultural de la reproducción social. El actual modo de producción expresa, más que ningún otro en la historia, la importancia del desarrollo de las F.P.t para la permanencia y reproducción de la sociedad. Sin embargo, no basta con que estas F.P.t se desarrollen hasta alcanzar ciertos niveles de productividad previstos, y/o cierta profundidad en el conocimiento de la naturaleza. La ciencia y la tecnología adecuadas y conformes a la dinámica del valor y del plusvalor han de producir, ilimitadamente, una mayor producción de mercancías, así como un acercamiento cada vez más analítico y atomizado de la realidad natural. Esta "búsqueda" de una mayor productividad, y este "proyecto" de exploración cada vez más minuciosa de la naturaleza no son -única o básicamente- mero "deseo" individual del científico o del técnico, sino manifestación de una necesidad histórico-material: la necesidad de reproducción de esta sociedad y, más aún, la necesidad universal de desarrollar las F.P.t que puedan, algún día, eliminar la escasez material. Es en este anhelo básico de la historia de la humanidad donde la ciencia y la técnica juegan un papel determinante, y es por ello -por su importancia en la reproducción material-social- que sus productos, ideas y lenguaje se sobresignifican y alcanzan a las más diversas esferas de la vida social, incluida la cultura (el arte, las costumbres, los modos de pensar.....). Y de tal manera adquieren

importancia los desarrollos científico/técnicos que se convierten en condición necesaria de la reproducción en sentido material y cultural.

c) La ciencia y la técnica industrial ilustran, ejemplarmente, la tan nombrada unidad de la teoría y la práctica como momentos de un único quehacer humano básico o esencial: el proceso de trabajo. En numerosas ocasiones los propios científicos han desmentido la idea generalizada de que sus "descubrimientos" se deben exclusivamente a la recopilación empírica de hechos o a la repetición de experimentos que conducen a la generalización. La historia de la ciencia se encuentra plena de ejemplos en los que una idea completamente elaborada antecede a su comprobación, y la ingeniería genética no es la excepción. Casi todos los descubrimientos de Jacob y Monod tuvieron un desarrollo predominante y originalmente lógico-teórico.

Sin embargo, estaríamos equivocados si, en contraposición a la "creencia en los datos" establecieran la "creencia en la teoría". Siempre podremos observar que el surgimiento de ideas previas a la comprobación empírica nace en un determinado ambiente de hallazgos, de hechos, de tendencias de investigación, que relacionados correctamente como un proceso de la conciencia, conducen a la estructuración de las ideas. Así pues, a la pregunta sobre la primacía de los datos o de la teoría, nos responde la teoría del proceso de trabajo: a toda acción humana antecede al momento ideal, consciente, el telos o intención de hacer (o demostrar) algo específico. Solamente en base a este primer proyecto ideal se estructura el camino más adecuado para lograr el objetivo práctico o cognoscitivo. Simultáneamente, este proyecto o intención, esta "idea", se presenta en la conciencia como resultado de las experiencias prácticas anteriores,⁷ de los procesos de trabajo previos o acumulados tanto en el conocimiento social como en el individual. Teoría y práctica no son, pues, más que momentos de este proceso cotidiano y esencial a todo ser humano: el trabajo, la relación teleológica sujeto-naturaleza.

Una vez explicitadas las tesis que la presente investigación busca confrontar

con el caso particular de la Ingeniería Genética, desearía hacer una última observación en cuanto a la forma de trabajo. Se ha elegido presentar primeramente los "hechos" científico/técnicos y posteriormente sus repercusiones sociales-ecológicas, como una introducción o argumentación empírica y hasta cierto punto teórica que apoye la parte final de la tesis: su historia económica, social y científica. Sin embargo, debido a los requisitos formales que debía cubrir una Tesis de Licenciatura de Biología, el presente trabajo no sólo no agota la argumentación teórica prevista, sino que esta ha debido ser aplazada -en su parte fundamental- para un trabajo posterior. Me refiero, especialmente, al capítulo o sección que debía tratar el problema estructural del desarrollo de la ciencia y la tecnología: la obtención de la plusvalía relativa y la plusvalía extraordinaria. Sin esta sección soy consciente de que el aspecto de los orígenes y tendencias de desarrollo de la ingeniería genética queda insuficientemente explicado y comprendido, en el sentido de que la Tesis queda "desequilibrada" hacia la descripción empírica y debilitada la teoría de la necesidad material del avance científico/técnico, la cual debiera explicar a fondo los problemas previstos desde el título del presente trabajo. Pero si bien me he limitado en el presente trabajo a esta demostración empírica, he buscado -en todo caso- relacionar los hechos como fenómenos de una realidad más vasta y compleja, así como de "encaminarlos" hacia una teoría general adecuada y hacia una crítica materialista de la biología contemporánea.

Espero que, una vez explicitados los límites, la descripción histórica y científica que a continuación presento apunte y confirme las tesis anteriormente presentadas como armazón coherente y necesario de una Historia Crítica de la Tecnología.

I. EL "SECRETO DE LA HERENCIA BIOLOGICA": EL DNA.

1.1 Estructura y funciones Autocatalíticas del DNA.

Los seres vivos se distinguen de la materia inanimada que los rodea por una serie de características y comportamientos que les son esenciales. Primeramente realizan un intercambio de materia y energía con el medio ambiente -metabolismo- que produce una reacción de la naturaleza favorable al mantenimiento de su organización, o "steady state" (Lehninger). Dicho metabolismo posibilita que los seres vivos, como sistemas termodinámicamente abiertos, mantengan el alto grado de organización u ordenamiento que les es característico.

La auto-organización de la materia viva -morfogénesis- se cumple en los organismos individuales mediante la reproducción, y digamos que en este punto se hace evidente el "sentido" de lo vivo: el mantenimiento de su propia integridad, de la identidad de su especie. La auto-reproducción, es, pues, una segunda característica esencial y de gran importancia para los seres vivos; mediante ella lo vivo permanece pero, paradójicamente, también es mediante la reproducción que lo vivo evoluciona, se modifica. Véamos.

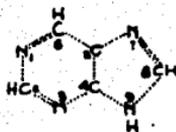
La reproducción biológica implica la transmisión o herencia de las características estructurales y funcionales de un organismo a su descendencia. Sin embargo un organismo también puede transmitir a su prole un cambio o conjunto de cambios que hayan tenido lugar azarosamente a su material genético. Estos cambios en el genoma de un organismo son llamados "mutaciones". Así pues, reproducción, herencia y mutación son los requisitos de la evolución orgánica (adaptativa/darwiniana o "neutral"), y es el dominio de estas características básicas, esenciales de los seres vivos lo que constituye el fundamento del desarrollo de la Ingeniería Genética. Científica y técnicamente pues, ha sido condición del desarrollo de esta ciencia el conocimiento altamente analítico y especializado de las estructuras moleculares y celulares que llevan a cabo la transmisión de estos caracteres genéticos, de los procesos metabólicos que posibilitan esto,

así como el funcionamiento global de la célula, y numerosos detalles más relacionados con la transmisión genética y la conservación de las características morfofisiológicas de las células.

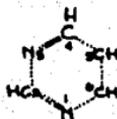
Si bien en 1900 se redescubrieron las leyes de la genética primero, observadas por Mendel en 1864 la investigación analítica y experimental (física), de la biología puede remontarse apenas a la década de los años treinta y cuarenta de este siglo, iniciándose con la cuestión de la naturaleza química-física del material hereditario. La delimitación anterior de los orígenes de la biología moderna al establecimiento claro de esta pregunta físico-químico intenta no ser un "parte aguas" arbitrario. El significado profundo de esta pregunta indica una cierta "madurez epistemológica" (que no es sinónimo de "perfección") en la investigación biológica, la cual la acerca específicamente al conocimiento físico-matemático de la naturaleza.

A partir de las investigaciones sobre transformación en bacterias, realizadas por C. T. Avery, C. M. MacLeod y M. J. MacCarty en 1944, se pudo comprobar que el ácido desoxirribonucleico o DNA es la sustancia químico-biológica portadora de la información genética, sin embargo en el caso de ciertos tipos de virus es otro ácido nucleico, el RNA o ácido ribonucleico, el portador de dicha función. El posterior descubrimiento de esto ha sido de gran importancia para la Ingeniería Genética, si bien se presentaron muchas objeciones a dichos análisis y no fue sino hasta 1950, gracias a los trabajos de Taylor y Hotchkiss^{4,5,6}, que se aceptaron dichas conclusiones.

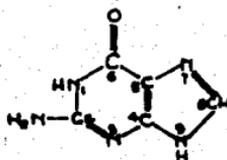
El argumento más utilizado por los bioquímicos en contra de las evidencias de Avery, MacLeod y MacCarty, que postulaban el DNA como material genético, era la teoría de la "Estructura tetranucleótida" del DNA, que señalaba a este como una molécula monótona en la que se repetía incesantemente el arreglo de sus 4 moléculas diferentes. Esta idea se basaba en el hallazgo, hacia 1920, de que el DNA contiene aproximadamente iguales proporciones molares de las 4 bases



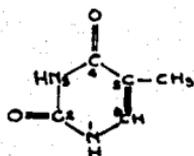
a) Adenina
(6-Aminopurina)



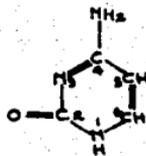
c) Uracilo (RNA)
(2,4-dioxypyrimidina)



b) Guanina
(2 amino-6-oxopurina)



d) Timina (DNA)
(5-metil-2,4-dioxypyrimidina)



e) Citoosina
(4-amino-2-oxopirimidina)

Figura 1 Estructura química de las bases purinas y pirimidinas.

nitrogenadas: adenina (A), guanina (G) citosina (C) y timina (T)⁷. Sin embargo, hacia 1948 Hotchkiss y Erwin Chargaff había aplicado la técnica de la cromatografía de papel recién descubierta a la separación y estimación cuantitativa de los constituyentes del DNA, y dichos análisis mostraron que, en contra de lo que afirmaba la teoría de la estructura tetranucleótida, las 4 bases no están necesariamente presentes en proporciones exactamente iguales en el DNA. Chargaff encontró que las proporciones molares reales de las bases pueden variar dentro de amplios límites, sugiriendo que el DNA podía no ser un polímero monótono; y, si no lo era, entonces su composición de bases podría ser un reflejo de su especificidad biológica. (Fig. 1).

Pero además de este resultado (publicado en 1950), Chargaff hizo notar que las proporciones molares de las purinas totales y las pirimidinas 'totales' así como las de A a T y de G a C eran muy cercanas a un valor de 1. Con ello se anunciaba una de las características estructurales más importantes del DNA: la regla de equivalencia, que se expresa $(A)=(T)$ y $(G)=(C)$ ⁸.

Sin embargo, esta fué solamente una de las condiciones en la dilucidación de la estructura del DNA. Quizás la mayor importancia consistió en la aplicación exitosa de la cristalografía de rayos X a las moléculas biológicas.

W. T. Atsury -pionero en el estudio de proteínas por este método fué una de las primeras personas que se ocupó de la estructura tridimensional del DNA. En 1945 Atsury propuso que el polímetro del DNA consistía en una columna de nucleótidos apilados en paralelo, uno encima del otro. Sus medidas mostraban que los nucleótidos se encontraban situados cada 3.4 Å a lo largo del eje de la molécula, medida esencialmente correcta como se comprobó posteriormente. En el cambio que condujo a la dilucidación de la estructura del DNA, así como de cualquier otro objeto científico, es interesante recordar aquellas teorías que aparecieron y fueron posteriormente desechadas, con el fin de enfatizar que la búsqueda por la "objetividad científica" corre a lo largo de numerosas ramificaciones e, incluso, retrasos, etc., que a su vez no conducen necesaria y linealmente

a una cadena de hallazgos positivos.

Después de Atsburly tres equipos distintos de investigación retomaron el análisis cristalográfico de donde él lo había dejado a principios de los años cincuentas:

- El grupo de Linus Pauling y colaboradores, que tras sus primeros e importantes triunfos en el conocimiento de la estructura secundaria de las proteínas, se dedicó a aplicar las mismas técnicas a su estudio de la estructura del DNA.

-El segundo grupo lo constituían Maurice Wilkins y Rosalynn Franklyn, quienes lograron un importante avance técnico: la preparación de fibras de DNA altamente orientadas, que les permitieron obtener una fotografía por difracción de rayos X que mostraban una riqueza de detalle jamás vista. Ciertas características del DNA saltaban a la vista de la fotografía, por ej. que la distancia de 3.4 Å entre nucleótido y nucleótido predicha por Atsburly era correcta.

- El tercer grupo se hallaba integrado por James D. Watson y Francis Crick, quienes de la fotografía tomada por R. Franklyn dedujeron lo siguiente:

a) que la cadena de polinucleótidos del DNA tiene la forma de una hélice regular.

b) la hélice tiene un diámetro aproximado de 20 Å,

c) dicha hélice dá una vuelta completa cada 34 Å a lo largo de su longitud, y como la distancia internucleotídica es de 3.4 Å, ello indica que existen 10 nucleótidos por vuelta, y

d) que, considerando la densidad de la molécula de DNA, la hélice debía contener dos cadenas de polinucleótidos. Ahora bien, tomando en cuenta la restricción que imponía el hecho de que el DNA es el material genético, Watson y Crick supusieron que la estructura del DNA debía ser capaz de acomodar las cuatro bases a lo largo de la cadena en cualquier secuencia arbitraria; de otra manera, la capacidad del DNA como portador de información genética se vería severamente restringida. Debido al diámetro constante de 20 Å, y ya que la dimensión del anillo de purina es mayor que el de pirimidina, Watson y Crick pensaron que la

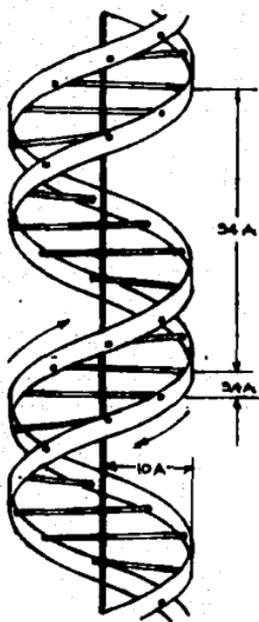


Figura 2 Representación esquemática de la molécula de doble hélice del DNA.

hélice de doble cadena podría tener un diámetro constante si existiera una relación de complementariedad entre las dos cadenas de nucleótidos. Finalmente, para darle mayor estabilidad termodinámica a la hélice la estructura debía tener amplias posibilidades para formar enlaces de hidrógeno entre los hidrógenos del grupo amino o hidroxilo y los cetooxígenos o imino-nitrógenos de las bases.

Tales consideraciones condujeron a la postulación de un modelo para la estructura del DNA que consistía en una hélice de cadena doble; estas dos cadenas polinucleótidas se enroscan hacia la derecha y son antiparalelas, es decir, tienen direcciones opuestas (fig.2). Al igual que en el modelo de Atsury los anillos de las purinas y de las pirimidinas se apilaban como planos perpendiculares al eje principal de la molécula; y al contrario de ese modelo el plano de la desoxirribosa forma el esqueleto de la cadena con su fosfato esterificado, paralelo al eje principal y por lo tanto perpendicular al plano de los anillos de las bases. Las bases se orientan hacia el interior de la cadena y en cada residuo las dos cadenas polinucleótidas son mantenidas juntas por la formación de enlaces de hidrógeno entre una purina de una cadena y una pirimidina de la otra ^{9,10}.

Probablemente la característica más importante de esta estructura es la manera en que se forman estos puentes de hidrógeno: opuesta a cada adenina (A) de una cadena existe una timidina en la otra, y esta misma relación de complementariedad existe entre la citosina (C) y la guanina (G). Ahora bien, la suposición de Watson y Crick basada en la necesidad de una secuencia de base arbitraria que pudiera explicar la variabilidad genética y su diversidad, así como la limitación de una estructura regular para el ADN impuesta por los datos cristalográficos, condujo a la comprobación de los resultados analíticos obtenidos por Chargaff, es decir, la regla de equivalencia entre purinas y pirimidinas. Dichos resultados no eran, de ningún modo, aceptados incondicionalmente por todos los bioquímicos y, de hecho, existían los datos de R. Markham¹¹ en contra de los resultados de Chargaff.

La consecuencia principal de la complementariedad entre las bases es la rela-

ción entre la estructura físico-atómica del DNA y su función biológico-hereditaria. El mismo Watson describe en "La doble hélice"¹² el temor de que la resolución de la estructura molecular del DNA no revelará nada de sus funciones biológicas, pero el descubrimiento de que el DNA en sí es autocomplementario, y de que cada molécula contiene dos juegos complementarios de información, escritos en notación complementaria, condujo directamente a la resolución del problema de la replicación del DNA. Ya en el artículo en el que Watson y Crick anunciaban la estructura del DNA se señalaba escuetamente que esta propia estructura sugería posibles mecanismos de replicación, y unas semanas más tarde publicaron una segunda carta en Nature en la que desarrollaban estas ideas¹³. Sin embargo, y al contrario de lo que comúnmente se cree, la idea de la complementariedad como mecanismo de duplicación de los genes era una vieja hipótesis sostenida por muchos en aquella época (L. Pauling, Griffith, etc.), y apoyada en la mecánica cuántica. Es decir, la idea "flotaba" en el medio científico de esos años, y no es original de Watson y Crick. La dilucidación de la estructura química del material genético era un problema de gran importancia, al que los esfuerzos teórico-experimentales de un buen número de científicos se enfocaban; el éxito de Watson y de Crick no se debió precisamente a sus mejores técnicas experimentales y a una mayor acumulación de datos empíricos, sino a la combinación de una serie de cualidades, entre ellas la imaginación y la creatividad, con el análisis global de los datos químico-analítico y cristalográficos.¹⁴

En su segundo escrito Watson y Crick sostenían que el apareamiento complementario de purinas y pirimidinas de las dos cadenas de la doble hélice sugería que la molécula de DNA podría replicarse a sí misma si cada una de las cadenas sirviera como templado o molde de su propia cadena complementaria. Las dos cadenas de DNA primeramente se separarían, y cada una de las bases de la secuencia atraería a un nucleótido complementario libre y disponible para la polimerización, quedando este "acomodado" en su lugar por medio de los enlaces de hidrógeno específicos. Una vez ubicados en la cadena molde los nucleótidos serían

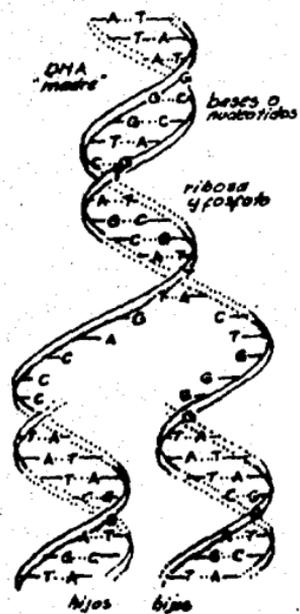


Figura 3 Replicación del DNA

enlazados entre sí por la formación de los enlaces diéster que unen a los residuos de desoxirribosa adyacentes, formando así una nueva molécula de polinucleótido con secuencia de bases predeterminada. Así, después de que se ha llevado a cabo esta complementariedad a lo largo de las dos cadenas del DNA, se han producido dos moléculas con secuencias de bases idénticas, y por lo tanto con la misma información genética que la doble hélice "materna"¹⁵. (fig.3)

En 1957 M. Meselson y F. W. Stahl comprobaron experimentalmente que este modelo de replicación del DNA, llamado "semi-conservativo", era esencialmente correcto¹⁶, si bien la dilucidación de los detalles de esta replicación se fueron esclareciendo en los años siguientes. (fig.4)

Ahora bien, el experimento de Meselson y Stahl dejó claro, además, que en el transcurso del tiempo de una generación celular el DNA total se replica una sola vez, y que los distintos sectores de este DNA son replicados en el mismo orden en generaciones sucesivas. De no ocurrir esta "organización" de la replicación en las células algunos segmentos del DNA podrían replicarse numerosas veces, y otros ninguna, por lo que la transmisión de las características genéticas de una generación a otra se vería seriamente alterada. En 1963 los experimentos de Banhoeffer y Gierer indicaron que existía solo uno o muy pocos sectores del DNA bacteriano replicándose en un momento determinado, es decir, sólo una o muy pocas "horquillas" o sitios de replicación por núcleo celular¹⁷, y en ese mismo año J. Cairns logró demostrar mediante fotografías ultraestructurales que la molécula completa de DNA de E. coli (o cromosoma bacteriano) es una estructura cerrada o circular, confirmándose así lo que Jacob y Wollman habían inferido desde otra perspectiva en 1957; asimismo, las fotografías de Cairns mostraban que, al menos al momento de ser tomadas, existían solamente dos sitios de replicación del DNA¹⁸. Dichas fotografías permitieron calcular la magnitud del DNA total o genoma de E. coli en unas 3,900,000 pares de bases (o 3,900 kb) que, arregladas linealmente, nos darían una magnitud aproximada de 500 veces la longitud total de la bacteria, y varias miles de veces más grande de lo que se había

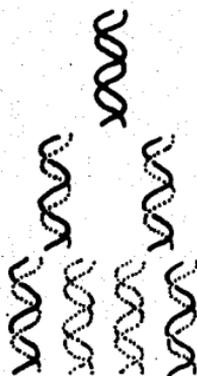
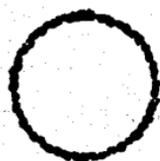


Figura 4 Modelo semiconservativo de replicación del DNA



*Figura 5 Cromosoma Circular
(esquema)*

calculado al momento del descubrimiento de la doble hélice. Esto nos lleva, aunque sea someramente, a la descripción del arreglo o acomodo de las grandes moléculas del DNA al interior de las células vivas:

Como recién mencionamos, el material genético de E. coli, y el de los demás organismos procariontes, se organiza en un sólo cromosoma circular, (fig.5) es decir, consiste en una sola molécula de doble cadena de DNA cerrada sobre sí misma (su extremo 5' se une al extremo 3'). El cromosoma de E. coli tiene un peso molecular (P.M.) de aproximadamente 2.8×10^9 , un grosor de 2.0 nm (el grosor de una molécula de DNA), y una longitud de 1.36 nm. Este cromosoma se acomoda apretadamente en la zona central de la bacteria, y se mantiene compacto gracias a una cierta cantidad de RNA que forma el centro de este cromosoma.

Además de su gran cromosoma "principal" la mayoría de los procariontes cuentan con una (1) a veinte (20) moléculas de DNA circulares mucho más pequeñas llamadas "plásmidos", de unos 5 a 100 mega daltons de P.M.; estos plásmidos se replican junto con el DNA cromosomal y contienen información genética "extracromosómica", como la capacidad de resistencia a antibióticos, y otras de gran importancia en el estudio de la genética bacteriana. Por ello, los plásmidos han sido de gran importancia para el desarrollo de la ingeniería genética y, como más adelante veremos, sus características son similares a las del DNA viral. Precisamente una de sus características más importantes y distintivas es su movilidad dentro del genoma y fuera de él: algunos plásmidos se integran al cromosoma bacteriano y reciben el nombre de episomas, otros pueden ser transferidos de una célula bacteriana a otra durante el proceso de la conjugación, y de esta manera se transmiten nuevas características genotípicas y fenotípicas de la célula receptora.

El DNA viral es mucho más diverso, en forma y tamaño, que el DNA bacteriano, si bien su P.M. promedio es similar al de un plásmido. El bacteriófago λ (lambda) por ejemplo, tiene su DNA organizado como una molécula lineal (no cerrada) de doble cadena, de una longitud aproximada de 17.2 m. El DNA del virus λ 174,

uno de los más pequeños que se conocen, consiste en una molécula circular de cadena sencilla que, al infectar a *E. coli* se replica dando lugar a una doble cadena. En resumen, existen todas las combinaciones posibles para el arreglo del DNA viral:

Molécula lineal de doble cadena; Ej. fago lambda

Molécula lineal de una cadena;

Molécula circular de cadena doble;

Molécula circular de una cadena; Ej. fago ϕ X 174

Molécula de RNA sencillo

Molécula de RNA de doble cadena¹⁹.

Por su parte, el material genético de las células eucariontes se localiza dentro del núcleo celular en estructuras de organización compleja llamadas cromosomas. El número de cromosomas de cada célula depende de la especie biológica, y las dimensiones de estos varían mucho; el cromosoma más grande de la mosca de la fruta *Drosophila* es una molécula de DNA lineal de doble cadena, con un P.M. de aproximadamente 80×10^9 d y 4.0 cm de largo. La longitud total de todo el DNA presente en una sola célula de mamíferos ha sido calculada en unos 2.0 m, lo que equivale a 5.5×10^9 p.b. En interfase (el período del ciclo celular entre dos mitosis) los cromosomas se acomodan en una red irregular llamada cromatina; las fibras de cromatina contienen DNA y ciertas proteínas de pH básico llamadas histonas, en cantidades iguales. También se encuentran algunas proteínas acídicas, algunas enzimas (como DNA polimerasas), RNA nuclear y algunos lípidos. Existen 5 tipos diferentes de histonas, las cuales son proteínas relativamente pequeñas que se acomodan entre la doble hélice del DNA para formar pequeños paquetes muy bien ordenados de material genético, llamados nucleosomas²⁰. (fig.6) Las cargas positivas (iónicas) de las histonas forman asociaciones con los grupos fosfato del DNA cargados negativamente, lo cual hace al DNA más estable y flexible. El DNA, asociado así con las histonas, se super-enrolla numerosas veces formando las fibras de cromatina y estas fibras, a su vez, se enrollan y son

mantenidas juntas por el centrómero (centro del cromosoma). Se han obtenido resultados experimentales que indican que las histonas juegan un papel importante no solo como elementos estructurales, sino como elementos de regulación genética al permitir o impedir la "entrada" al DNA de las enzimas de la replicación y la transcripción. Así pues, estos dos procesos genéticos poseen en los organismos eucariontes una complejidad topológica y geométrica que no se encuentra presente en los organismos procariontes, y esa es una de las causas más relevantes de que la biología molecular y la ingeniería genética se encuentren menos desarrolladas para el caso de las células eucariontes.

Regresemos, pues, al tema de las funciones autocatalíticas del DNA:

A mediados de los años cincuenta Arthur Kornberg se acercó al problema de la replicación del DNA desde una perspectiva muy diferente a la de Meselson y Stahl. Kornberg supuso que la síntesis de nuevas cadenas del DNA a partir de un molde o templado de esta molécula debía ser catalizada por una enzima específica de la reacción, así que se propuso aislarla y estudiar sus mecanismos de reacción. Muy pronto Kornberg obtuvo resultados positivos, pues observó in vitro la polimerización de nuevas cadenas de DNA en extractos de E. coli si añadía los 4 cuatro tipos de nucleótidos, Mg^{2+} y moléculas de DNA que servían como templado. Una vez logrado esto, y tras una excesiva acumulación de material bacteriano, Kornberg logró aislar y purificar a una enzima responsable de la replicación a la cual llamó DNA polimerasa²¹ y que vino, una vez más, a confirmar el mecanismo de replicación propuesto por Watson y Crick.

Sin embargo, muchos detalles importantes del mecanismo de replicación del DNA permanecían aún oscuros, como el hecho de si esta replicación ocurría en una sola dirección o en ambas, o si la enzima DNA polimerasa purificada por Kornberg era la enzima responsable in vivo de la replicación; estos y otros detalles se fueron esclareciendo hasta la década de los setentas (fig.7):

En 1972 Prescott encontró que la replicación del cromosoma circular de -- E. coli es bidireccional, es decir, que ocurre en la dirección 3'-5' y en la

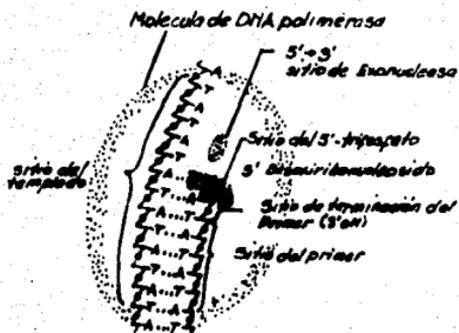


Figura 7 Sitios específicos de reacción en la DNA polimerasa

dirección 5'-3'. También demostró, con fotografías similares a las de Cairns, que el punto en el que los dos círculos de replicación del DNA de la bacteria se unen corresponde a la horquilla de replicación. Para responder la cuestión de si cada vuelta de replicación del cromosoma bacteriano comienza en un sitio de origen definido, L. Caro realizó experimentos similares a los de Banhoeffer y Gierer (si bien más elaborados), mediante los cuales comprobó que los cromosomas circulares de fagos, así como los de bacterias, tienen un sitio específico de inicio de la replicación, que es reconocido por una o más proteínas del complejo enzimático que cataliza este proceso, y dependiendo del organismo la replicación procede uni o bilateralmente²². Asimismo, la comprobación de que existe un sitio de inicio de la replicación hace suponer que ello facilita a la célula la regulación de su frecuencia de replicación, haciendo posible calcular la velocidad a la que esta ocurre (la replicación de todo el cromosoma circular de E. coli ocurre en unos 40 min.).

Estudios posteriores demostraron, además, que la DNA polimerasa aislada por Kornberg no es la única enzima que interviene en la replicación y, más importante aún, que no es el único tipo de DNA polimerasa. A mediados de los sesenta Cairns propuso que esta enzima, a la que se refirió con el nombre de DNA polimerasa I (DNA pol I) podría no ser la responsable de la catálisis in vivo de la replicación del cromosoma de E. coli²³, y otros datos ya conocidos confirmaban su propuesta²⁴:

a) que las tasas de actividad de la DNA pol I in vitro eran bastante más lentas que las tasas conocidas para la replicación in vivo de E. coli (de acuerdo a la velocidad de la DNA pol I la replicación de E. coli se tomaría 10 hrs.; mientras que la replicación observada se llevaba a cabo en 40 min.).

b) que cada célula de E. coli contiene aproximadamente 100 moléculas de DNA pol I, cantidad excesivamente grande para el escaso número conocido de sitios de inicio de la replicación, y

c) que la DNA pol I no sólo es una polimerasa, sino también una DNA exonu-

cleasa, es decir, que la enzima hidroliza (rompe) las cadenas de nucleótidos no cerradas en sus extremos libres 5'.

Así pues, Cairns comenzó a sospechar que la función de la DNA pol I in vivo era más bien la de reparación del DNA, más que la de ser la principal catalizadora de la replicación, y sus experimentos con bacterias lo llevaron a confirmar esta hipótesis. La comprobación de este hecho condujo entonces a la búsqueda por la verdadera enzima de la replicación de E. coli y en 1971 M. Gefter y T. Kornberg (hijo de Arthur Kornberg), aislaron dos nuevos tipos de DNA polimerasa, llamados DNA pol II y III²⁵. Si bien la función de la DNA pol II no es bien conocida, la DNA pol III parece ser la verdadera enzima de la replicación en E. coli. La DNA pol III carece de la actividad de exonucleasa de la DNA pol I y cataliza la síntesis in vitro de DNA a una velocidad que concuerda con la velocidad de replicación in vivo de E. coli. Además, el número de enzimas de este tipo presentes en la célula corresponde al número de sitios de inicio de la replicación. Sin embargo, la DNA pol III posee una nueva característica: no puede iniciar la producción de nuevas cadenas de DNA sin que existan cadenas preexistentes de ribonucleótidos (primer). Es decir, la DNA pol III necesita de un primer o cadena preexistente de RNA²⁶, y por lo tanto requiere de la acción previa de la RNA polimerasa²⁷ sobre el DNA original. Finalmente, para producir el cromosoma cerrado (circular) de E. coli se demostró la necesidad de que actúe una DNA ligasa, enzima que une los extremos 3' y 5' de la molécula de DNA después de que la DNA pol I, con su actividad de exonucleasa, haya hidrolizado los ribonucleótidos del primer que fueron colocados en el extremo 5' al inicio de la replicación, y los haya reemplazado con desoxirribonucleótidos.

1.2 Las Funciones Heterocatalíticas del DNA.

En las células de todos los organismos vivos la utilización de la información contenida en el DNA para producir las proteínas necesarias -para la conservación de la estructura y las funciones celulares- se lleva a cabo con la mediación de un segundo ácido nucleico, el ácido ribonucleico o RNA. Es esta molécula media-

dora -en más de un aspecto- la que colabora en las dos funciones heterocatalíticas esenciales de la célula, la transcripción y la traducción.

Parece ser que fué Alexander Dounce quien, hacia 1952, formuló la concepción teórica general acerca de estas dos funciones heterocatalíticas. En la llamada transcripción la secuencia de nucleótidos cumple la función de templado o molde para la síntesis de moléculas complementarias de RNA, es decir, la información contenida originalmente en la secuencia de nucleótidos del DNA es transcrita a moléculas de RNA, cuya secuencia de ribonucleótidos será ahora también portadora de la información acerca de los aminoácidos del polipéptido para el cual codifica el gen transcrito; el "mensaje" escrito en desoxirribonucleótidos (en una doble cadena) es transcrito a una secuencia sencilla de ribonucleótidos. Estas moléculas de RNA recién formado migran entonces del núcleo al citoplasma celular en donde, en una segunda etapa o función heterocatalítica, serán traducidas sus secuencias de ribonucleótidos a cadenas de polipéptidos con una estructura primaria predeterminada²⁸.

En este momento, se hace necesaria una redefinición del concepto clásico de gene. En realidad el concepto de gene o factor hereditario (Mendel) era un concepto bastante ambiguo al que la biología molecular, al momento de constituirse como ciencia, buscó dar un contenido material, físico. Así pues, con el desarrollo de las investigaciones hasta aquí descritas quedó establecido un concepto molecular de gene: aquel segmento de cadena polinucleotídica cuya secuencia de bases determina la secuencia de aminoácidos de una cadena polipeptídica por medio de un código genético. Y a partir de los experimentos de Benzer en 1955²⁹ se estableció una definición experimental del gene, al que Benzer llamó cistrón. El cistrón es aquella región del genoma que debe encontrarse intacta para producir el genotipo original o "silvestre".

Volvamos, pues, al RNA y a las investigaciones que confirmaron y detallaron el esquema propuesto por Dounce:

El ácido ribonucleico es una molécula de una sola cadena de polinucleótidos

similar a una sola cadena de DNA; las principales diferencias químicas entre los dos tipos de ácidos consisten en que los nucleótidos del RNA contienen el azúcar ribosa en lugar de la desoxirribosa características del DNA, y en que en sus cadenas se encuentra presente la base pirimídica llamada uracilo (U) en lugar de la timina (T) del DNA. Además, el RNA es en general una molécula de una sola cadena de ribonucleótidos, en contraste con la doble cadena típica del DNA.

Los primeros estudios acerca de las funciones biológicas del RNA comenzaron a finales de los años treinta³⁰, al demostrarse que el RNA se localiza casi exclusivamente en el citoplasma celular, a diferencia del DNA que se localiza exclusivamente en el núcleo. También se observó que este RNA se encontraba concentrado en pequeñas partículas que al ser aisladas resultaron contener además una gran cantidad de proteínas. Poco después se observó que existía una estrecha relación entre el número de estas partículas y la velocidad o tasa de síntesis de proteínas de la célula, lo cual condujo a la idea de que el RNA debía estar relacionado, de algún modo, con la producción de estas proteínas. A principios de los años cincuenta, con la generalización de la utilización de aminoácidos marcados radioactivamente³¹, así como la microscopía electrónica y otros estudios fisicoquímicos³², se pudo demostrar que estas partículas que contienen RNA son el sitio celular de la síntesis de proteínas, y se les dió el nombre de ribosomas.

La primera hipótesis formulada para explicar la relación entre esta síntesis proteínica y los ribosomas, fué la "un gen -un ribosoma- una proteína", la cual proponía que cada gen del DNA contenía la información necesaria para transcribirse a un RNA que a su vez formaba parte directamente de un ribosoma; el cual solamente podría dirigir la síntesis de la proteína específica para la cual codificaba ese gen. Sin embargo, este esquema era irreconciliable con los resultados obtenidos por S. S. Cohen desde 1948. Cohen había demostrado que tras la infección de E. coli con fago T2 no se producen nuevos tipos de ribosomas, que el RNA recién sintetizado -aunque ligado a los ribosomas- es perfectamente distingui-

ble y separable del RNA ribosomal, y que una parte del RNA producido después de la infección corresponde al DNA viral³³. Poco después Sol Spiegelman comprobó que el RNA producido tras la infección de *E. coli* con fago T4 en verdad es una transcripción del DNA viral, ya que era posible formar moléculas híbridas con el DNA viral y RNA recién formado; es decir, ambas moléculas eran complementarias y por ello podían formar una estructura estable de doble cadena, lo cual constituyó además un importante argumento a favor del proceso de la transcripción.

Así que tomando en cuenta los resultados de Cohen y algunos aspectos conocidos de la regulación de síntesis de enzimas F. Jacob y J. Monod propusieron que la secuencia de nucleótidos de cada gen de DNA debía ser transcrito a moléculas complementarias de un tipo especial de RNA al que llamaron tentativamente RNA mensajero (RNAm). Las moléculas de RNAm -de acuerdo a Jacob y Monod- podrían combinarse temporalmente con los ribosomas, constituidos ya con su propio RNA ribosomal (RNAr). Dichos ribosomas serían inespecíficos, es decir, no producirían necesariamente un sólo tipo de proteína, mientras que el complejo RNAm-ribosoma sería el realmente capacitado para sintetizar la proteína codificada en el gen de DNA y representada por su RNA transcrito³⁴. Poco después Brenner, Jacob y Meselson³⁵ pudieron comprobar experimentalmente la validez de estas nociones teóricas para explicar dichos eventos celulares; en su experimento demostraron que el RNA producido después de la infección de *E. coli* con fago T4 entra a los ribosomas "viejos", es decir, a los ya presentes en la célula antes de que ocurra la infección.

La propuesta de Jacob y Monod condujo además a la búsqueda y descripción del llamado RNAm en células no infectadas, así como a la dilucidación de los mecanismos de transcripción. En poco tiempo la investigación reveló que aproximadamente la mitad del peso del RNA sintetizado por *E. coli* en cualquier momento es, en realidad, del tipo del RNAm, una molécula "inestable" pues tiene una vida media aproximada de una décima parte de la duración del ciclo celular; y en 1961,

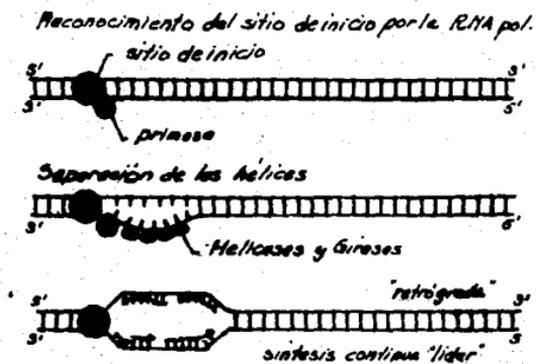


Figura B Secuencia hipotética de transcripción del DNA

casi simultáneamente a las investigaciones de Kornberg sobre la replicación del DNA y la DNA polimerasa, S. Weiss³⁶, J. Hurwitz³⁷ y A. Stevens³⁸ descubrieron el mecanismo de transcripción de DNA a RNA y purificaron la enzima responsable de esta reacción, la RNA polimerasa. Esta enzima cataliza la formación de cadenas sencillas de ribonucleótidos (RNA) en presencia de moléculas de DNA que actúan como templado (Figura 8).

Así pues, la replicación del DNA y la transcripción del DNA a RNA son procesos similares ya que en ambas reacciones es necesario que la doble cadena de DNA que actúa como templado sea "desenrollada" para permitir la identificación de sus nucleótidos ("lectura") por la enzima correspondiente; en ambos procesos cada base nucleotídica del templado de DNA atrae a una base complementaria libre -sea purina o pirimidina-, y la "sostiene" en su lugar mediante la formación de puentes de hidrógeno. Posteriormente la DNA pol o la RNA pol catalizarán la formación de los enlaces covalentes entre fosfatos y desoxirribosa, o ribosa, según sea el caso. Es importante recordar que durante la transcripción el uracilo (U) sustituye en el RNA a las timidinas que se encontraban presentes en el DNA, por lo que a cada adenina (A) del molde de DNA corresponde un U en el RNA. Una segunda diferencia importante es que en la replicación del DNA las dos cadenas del templado quedan permanentemente separadas al servir de molde a la cadena en formación, a la cual se va enrollando simultáneamente; así pues, al terminar la replicación se han formado dos moléculas de DNA de doble cadena, consistentes en una cadena "madre" y una "hija". Por el contrario, en la transcripción las dos cadenas de DNA se desarrollan "poco a poco" para permitir la "lectura" de la RNA pol y vuelven a unirse apenas se ha llevado a cabo la síntesis del RNA complementario de esa región del DNA; por un corto momento se forma una pequeña molécula híbrida de DNA y RNA, pero la nueva cadena de RNA se desenrolla pronto de esta hélice y abandona el dominio de la RNA pol, permitiendo de nuevo el enrollamiento de la doble cadena de DNA.

Ahora bien, así como los estudios sobre replicación del DNA determinaron

que en el DNA existen unos cuantos sitios específicos de inicio los cuales son reconocidos por la DNA pol, en el caso de la investigación sobre la transcripción se observó algo parecido:

La RNA pol no puede dar comienzo a su actividad en cualquier lugar, es decir, azarosamente, sino que existe un número limitado de sitios de iniciación de la transcripción por los cuales la enzima tiene afinidad estereoquímica³⁹, así que la estructura intacta de la doble hélice del DNA es esencial para el reconocimiento de estos sitios por la enzima⁴⁰.

Mediante los estudios sobre transcripción y descripción del mapa genético del fago T7 primeramente, y después de muchos otros fagos, se han podido identificar en el DNA ciertas secuencias de bases específicas que rodean a los sitios de iniciación de la transcripción; en otras palabras, la RNA pol reconoce secuencias especiales de nucleótidos en donde puede comenzar su actividad catalítica, y ha sido posible conocer tales secuencias, con métodos que posteriormente se explicarán. Asimismo, en el templado del DNA no sólo están codificadas las secuencias que proveen señales de iniciación de transcripción, sino también las señales que especifican la terminación de ésta. Estas secuencias han sido determinadas y aunque están estrechamente relacionadas, se ha podido demostrar que existen diferentes señales de término que reconocen las RNA pol de diferentes especies, y que algunas de estas señales requieren además de un factor especial de terminación, como el llamado factor rho, que impide la continuación de la transcripción y ayuda a la identificación de la señal de término^{41,42}.

Más aún: con las investigaciones más recientes y detalladas sobre la estructura del DNA, así como el papel que juegan las secuencias específicas de bases en la gran variabilidad estructural local de esta molécula, se han podido estudiar con mayor precisión los procesos de reconocimiento del DNA que efectúan las polimerasas, así como los activadores y los represores de la transcripción. Parece ser que la estructura primaria del DNA (su secuencia nucleotídica) determina en alto grado su conformación tridimensional local permitiendo así el reconoci-

miento y afinidad de otras moléculas por medio de la formación de puentes de hidrógeno entre estas moléculas y la "orilla" de la doble hélice⁴³.

Hemos llegado, con la descripción de las características generales de la transcripción, a uno de los problemas más cruciales de la biología molecular y la ingeniería genética: el problema de la regulación genética.

En la vida de una célula algunas proteínas -obviamente- son requeridas en mayores cantidades que otras. Hemos visto, por ejemplo, que la DNA pol III se encuentra representada por unas 10 moléculas por célula, mientras que las proteínas ribosomales están presentes en cientos de miles de copias. Ahora bien, la producción de cada proteína en las cantidades estrictamente necesarias es condición esencial para el funcionamiento armónico y económico de la célula, y de ello se infiere que las células no sintetizan todos los polipéptidos codificados en su DNA en cantidades iguales.

Desde principios de siglo se sabía que las propiedades enzimáticas de las bacterias dependían del medio en que estas eran cultivadas. En los años treinta Karström dividió las enzimas del metabolismo de carbohidratos en dos grupos: las adaptativas, producidas sólo si se encuentran sus sustratos -las sustancias sobre las cuales actúa o ejerce su actividad- en el medio cultivo, y las constitutivas que se sintetizan siempre, sin importar el medio de cultivo en que crecen las bacterias. Se conocía que una de las enzimas adaptativas de E. coli era la β -galactosidasa, que cataliza la hidrólisis de su sustrato "natural", la lactosa; en presencia de un azúcar diferente a la lactosa en el medio de cultivo, E. coli, carece de la β -galactosidasa.

En 1946 Jacques Monod inició sus estudios sobre la producción adaptativa de esta enzima, y después de 15 años pudo proponer junto con F. Jacob y colaboradores la primera solución al problema de la regulación genética en las bacterias⁴⁴. Como resultado de su nuevo enfoque en 1953 Monod y Jacob rebautizaron a la adaptación enzimática con el término de "inducción enzimática" y definieron como inductores a aquellos compuestos (por ej. la lactosa) en cuya presencia

la célula responde con la formación de una enzima o grupo de ellas⁴⁵. Asimismo J. Ledenberg se acercó al mismo problema pero desde un enfoque genético⁴⁶; a finales de los sesentas los esfuerzos conjuntos de Jacob y Monod condujeron a la propuesta de un modelo básico y general de regulación genética bacteriana de la síntesis de proteínas, y posteriormente, al modelo del operón.

De acuerdo a este modelo, que ha sido verificado con numerosos experimentos bioquímicos, existen tres diferentes lugares o loci en el genoma de E. coli designados con las letras "Z", "I" y "O". El locus z especifica la secuencia de aminoácidos de la proteína que se regula (en este caso la β -galactosidasa), y por eso se dice que es un gen estructural; el locus i es un gen inhibitorio, que determina si z será transcrito, y por eso es un gen regulador, además codifica la secuencia de aminoácidos de una proteína llamada "represor" que una vez producida en los ribosomas se difunde hacia el DNA a un lugar cercano al gene estructural Z fijándose ahí e impidiendo su transcripción; por su parte "o" es el sitio o locus en el que se pega este represor, al que se le da el nombre de operador y consiste en un segmento de DNA de secuencia específica, que al ser reconocido por el represor impide el acceso de la RNA pol al gen estructural y por tanto su transcripción.

En ausencia del agente inductor - por ej. lactosa, los galactósidos y derivados - la molécula de represor es fabricada por la célula una vez que se transcribe el gene i. En ausencia del inductor este represor se encuentra en su forma activa y reconoce y se fija al locus del operador impidiendo así la transcripción del gene estructural de la β -galactosidasa. Por el contrario, cuando se añade la molécula inductora esta se combina con la proteína represora en un sitio específico de esta (sitio activo) para formar un complejo represor-inductor. Una vez formado este complejo el represor es incapaz de unirse al operador seguramente porque la unión con el inhibidor produce un cambio informacional en el represor; de esta manera el gene estructural queda libre para ser transcrito y luego traducido. La interacción entre el agente inductor y el represor

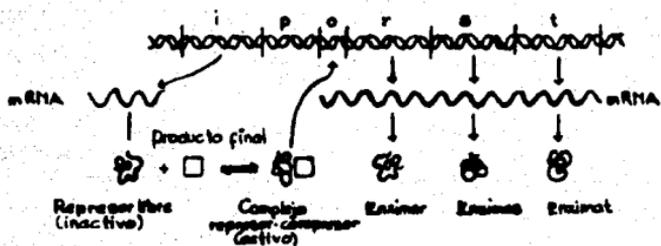


Figura 9 El modelo del operón de Jacob y Monod para la represión enzimática.

es reversible, lo que explica que una vez que el agente inductor es removido del medio el represor adopta su forma inhibitoria y vuelve a impedir la síntesis de la enzima⁴⁷ (Figura 9).

Jacob y Monod extendieron su hipótesis de la regulación de la síntesis de una proteína a los mecanismos de inducción coordinada, en los que una secuencia de enzimas puede ser inducida en conjunto por un solo inductor. Por e.j., los β -galactosidos inducen la producción de un grupo de tres proteínas codificadas por tres genes diferentes: la β -galactosidasa (gene z), la β -galactosidopermeasa (gene y) y la β -tioalactosidoacetil transferasa (gene a), colocadas en esa secuencia en el genoma de E. coli. Estos tres genes estructurales, regulados por el mismo gene i y el mismo operador "o" fueron designados por Jacob y Monod como el operón lac. En general, un operón es definido como un grupo de genes estructurales funcionalmente relacionados, y que se encuentran cercanos en el cromosoma, por lo que pueden ser activados o desactivados coordinadamente por medio de los mismos loci reguladores. El locus operador controla la transcripción de todo el grupo de genes inducidos para formar un sólo RNAm policistrónico (es decir, que contiene la información de más de un gene). A partir del trabajo de Jacob y Monod sobre el operón lac, se han identificado muchos otros operones o sistemas de regulación en E. coli y otras bacterias, y se ha comprobado que el modelo también explica la represión de la síntesis de una enzima o grupo de enzimas por medio del producto final de una ruta metabólica, al que se ha llamado "co-represor".

Paradigmáticamente, si bien la hipótesis de Jacob y Monod podía explicar diferentes casos de regulación genética pasaron algunos años antes de que existiera la evidencia química de la molécula represora. Debido a las cantidades infinitamente pequeñas en que se debía encontrar este represor en la célula de E. coli, parecía un objetivo inalcanzable su purificación y estudio. Fué hasta 1967 que W. Gilbert y B. Müller-Hill lograron aislar el represor lac en una forma parcialmente purificada⁴⁸; M. Ptashne aisló poco después el operón

del fago lambda⁴⁹ y J. Beckwith y colaboradores lograron aislar el segmento de DNA de E. coli que contiene el operón lac. Todos estos avances y otros más han confirmado la hipótesis general de Jacob y Monod.

Por otra parte, se ha estudiado un locus o sitio más, el promotor. Este sitio se localiza entre el locus i (gene regulador) y el locus o (operador), y es un segmento pequeño de DNA de menos de 100 nucleótidos; este promotor es el sitio de unión donde se fija otro tipo de proteína en ciertos operones, la proteína rectora de AMP cíclico (AMPc). Esta proteína se une al AMPc y juntos reconocen al promotor e inducen la transcripción del operón lac⁵⁰.

Poco se sabe, sin embargo, sobre la regulación genética de la síntesis proteica en los organismos eucariontes. Como mencionamos anteriormente, al hablar de sus cromosomas, el problema de la regulación se complejiza bastante debido a varias e importantes razones: el tamaño mucho mayor del genoma, su división en varios cromosomas, la compleja composición molecular y estructural de estos, su separación física respecto de los ribosomas del citoplasma celular debido a la presencia de la membrana nuclear y el altísimo grado de diferenciación celular de que son capaces los organismos eucariontes pese a que todas las células de un individuo poseen la información genética completa de la especie. A pesar de que los mecanismos básicos de transcripción son muy parecidos en procariontes y eucariontes la compleja estructura de los cromosomas de estos últimos indudablemente debe requerir la participación de factores de regulación inexistentes para los primeros, de modo que estos "factores de regulación" seleccionen y expongan el DNA a las enzimas de la transcripción en el momento necesario; se ha pensado que dichos mecanismos seguramente tendrán relación estereoquímica con las histonas que forman el nucleosoma.

Una multitud de características, muchas de ellas aún desconocidas, son la causa de la gran diferenciación celular de los organismos eucariontes; una de ellas es el gran tamaño de su genoma, capaz de contener muchísimas más "instrucciones" genéticas y de "comportarse" con una gran flexibilidad. En las células

altamente diferenciadas de los vertebrados la mayor parte del genoma se encuentra permanente y probablemente "desactivado", es decir, incapacitado (por sus propias secuencias de nucleótidos o por factores de regulación externos) para ser transcrito y dirigir la síntesis de proteínas específicas. Y existe una complejidad adicional debido a la gran redundancia del DNA eucarionte, ya sea en la forma de secuencias cortas "satélite" o como un gran número de secuencias largas repetidas numerosas veces en el genoma; dichas secuencias repetidas (llamadas en ocasiones significativamente, "DNA basura") probablemente posean funciones reguladoras y de "amortiguamiento" de mutaciones, pero en realidad se desconoce su origen, su función y su permanencia en los genomas de las especies.

Así pues, el control transcripcional de la expresión genética que reviste la mayor importancia en los procariontes -el del tipo del operón lac- no debe ser la única opción reguladora que se manifieste en los organismos eucariontes. La expresión génica en estos últimos puede ser regulada en diferentes momentos: durante el procesamiento del RNA_m en el núcleo, por control de la traducción a nivel de los ribosomas, o por modificación post-traduccional del producto polipeptídico; ello a pesar de que el control transcripcional complejo también debe revestir la máxima importancia en estos organismos debido a que proporciona una máxima economía de materiales y energía para la célula⁵¹.

Una vez realizada la importante y fina labor celular de la regulación genética, que hemos enfatizado a nivel de la transcripción, el RNA_m deberá ser traducido al lenguaje de las proteínas. Es decir, el mensaje genético escrito o contenido en la secuencia de ribonucleótidos del RNA_m deberá ser leído o procesado en los ribosomas, y convertido o traducido a la secuencia específica de aminoácidos de la proteína para la cual codificaba ese RNA_m⁵².

Simultáneamente a la verificación de que el RNA puede actuar como un mediador o mensajero entre el DNA y la producción de proteínas en los ribosomas, surge la pregunta de cómo se ensamblan los aminoácidos en la secuencia adecuada

y qué relación guarda esto con el "mensaje" escrito en los ribonucleótidos del RNAm.

En 1958 F. Crick propuso la hipótesis del "adaptador", con tan gran visión imaginativa que se cae en la tentación de creer que Crick conocía de antemano las respuestas al proceso de traducción; ello ejemplifica una vez más el alcance e importancia del pensamiento teórico al momento de hacer las preguntas adecuadas, etapa siempre previa a la experimentación. A su vez, son todos los logros y evidencias positivas las que posibilitan que uno o varios individuos se hagan estas "preguntas adecuadas", y Crick se encontraba estudiando el cercano problema del código genético.

Crick imaginó, con razón, que la estructura del RNAm dejaba pocas oportunidades de "flexibilidad" como para adoptar formas diversas que directamente se enlazaran con los aminoácidos que constituían una proteína. Debía existir, pues, una molécula mediadora, el "adaptador" que sería la que directamente reconocería la secuencia de bases del templado de RNAm, seguramente mediante la formación de puentes de hidrógeno, y que además acarrearía a un aminoácido específico; de acuerdo con esto, debía existir por lo menos 20 veinte tipos distintos de adaptador. Crick sugirió además la naturaleza química del adaptador: probablemente contenía nucleótidos que se enlazarían a los nucleótidos del RNAm de manera complementaria. Asimismo propuso la existencia de enzimas que enlazaran los aminoácidos a su tipo correspondiente de adaptador, y este sería realmente el paso o etapa de reconocimiento, que las enzimas, con su gran flexibilidad y complejidad funcional, podrían realizar con mucha mayor eficacia que el RNAm directamente o cualquier otro tipo de ácido nucleico.

Mientras tanto, mediante estudios bioquímicos Paul Zamecnik y colaboradores volvieron a comprobar que la síntesis proteica ocurría en los ribosomas, llamadas partículas ribonucleoproteicas en esos días y descubiertas, como ya señalamos, a principios de los años cincuenta. Zamecnik descubrió además un nuevo tipo de RNA e identificó los distintos factores necesarios para que se llevara

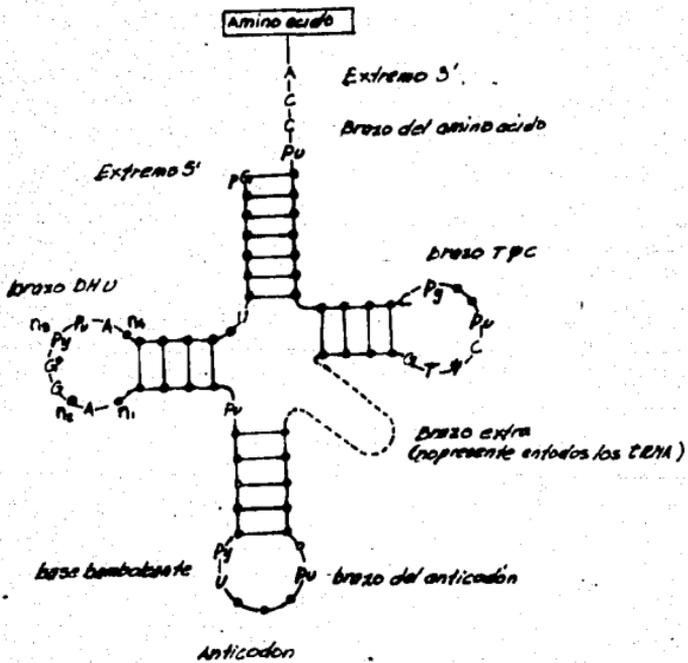


Figura 10 Esquema del tRNA de transferencia

a cabo la síntesis proteica, descubriendo entre los compuestos estables diferentes tipos de RNA de bajo peso molecular a los que primeramente llamó RNA soluble⁵³ (RNAs), y que actualmente son conocidos como RNA de transferencia (RNAt) para ilustrar mejor su función. En 1957 M. Hoagland, Zamecnick y colaboradores descubrieron que el primer paso en la utilización de los aminoácidos en la biosíntesis es su activación mediante una enzima que cataliza primero su reacción con ATP (adenosín trifosfato) y después, ella misma, su enlace a un tipo específico de RNAt^{54,55}. El adenosín trifosfato o ATP es una molécula altamente eficiente en la transferencia de energía química, la cual "almacena" en los enlaces covalentes de sus tres grupos fosfato; el ATP, pues facilita la circulación de esta energía desde donde ocurre su producción (en los procesos de fermentación y/o respiración) hacia las moléculas o reacciones que la necesitan⁵⁶.

Muy pronto, estudios cuantitativos demostraron que la reacción de enlace de los aminoácidos a su tRNA es de naturaleza altamente específica en el sentido de que a un tipo de aminoácidos corresponde solamente un tipo de tRNA, o mejor, que estas enzimas se encargan de enlazar un aminoácido específico al grupo OH libre de la ribosa que se localiza en el extremo 3' del tRNA que le corresponde. Poco después se pudieron aislar y purificar los diferentes tRNA⁵⁷, y el trabajo de Paul Berg y colaboradores comprobó la existencia de las enzimas responsables de esta activación, llamándolas aminoacil-tRNA sintetasas⁵⁸ (Figura 10).

Los tRNA están constituidos, en promedio, por unos 80 nucleótidos, y se producen -al igual que el rRNA y el mRNA por transcripción de DNA mediada por la enzima RNA polimerasa. Los primeros estudios acerca de la estructura primaria y secundaria del tRNA fueron llevados a cabo por R. Holley, y pusieron de manifiesto que entre los nucleótidos del tRNA se forman numerosos puentes de hidrógeno que dan lugar a diversas regiones con estructura de bases apareadas⁵⁹ que proporcionan su estructura secundaria típica de "trébol" u "horquilla". Más tarde, en la década de los setentas, se comenzaron a obtener resultados acerca de la estructura tridimensional de los tRNA^{60,61}, si bien apenas comienza a

conocerse el modo en que esta estructura interactúa con el ribosoma para realizar la síntesis proteica^{62,63}.

Por otra parte la investigación realizada a partir de la década de los sesentas han revelado que el proceso de traducción o síntesis de proteínas ocurre en 4 etapas: (Figura 11).

1- La ya mencionada activación, que ocurre en el citoplasma y consiste en la esterificación o enlace diéster, de los aminoácidos a sus respectivos y específicos tRNA; esta reacción requiere de la energía liberada por la hidrólisis de ATP y, por supuesto, de las aminoacil-t RNA sintetasas.

2- La iniciación, en la cual el mRNA y el aminoacil-tRNA de iniciación (N-formilmietionil-tRNA o fMet-tRNA en el caso de todos los organismos procariontes) se conectan con la subunidad pequeña del ribosoma, para lo cual se requiere de ciertas proteínas conocidas como factores de iniciación (IF-1, IF-2 y IF-3), GTP y Mg^{2+} . Sólo entonces la subunidad grande se une a la pequeña para formar un ribosoma funcional.

3- La elongación, en la cual la cadena polipeptídica es alargada mediante la adición sucesiva de nuevos aminoácidos, lo cual realiza gracias al reconocimiento o complementariedad de un codón o tripleto de bases del mRNA por un anticodón del tRNA localizado en el extremo opuesto al que se encuentra el aminoácido. La formación de puentes de hidrógeno entre ambos tripletes permite que los aminoácidos que acarrean los diversos tRNA se localicen en sitios específicos del ribosoma, y que gracias a la acción enzimática de la peptidiltransferasa se formen los enlaces peptídicos típicos entre los residuos de la naciente cadena proteínica. Esta etapa requiere además de los factores de elongación EF-I y EF-G y de 2 moléculas de GTP que proporcionan energía (en lugar del ATP). Después de la formación de cada nuevo enlace peptídico el ribosoma se recorre a lo largo del RNA_m para alinearse en el siguiente codón y permitir la entrada, a su vez, del siguiente tRNA⁶⁴. La elongación es un proceso que se repite ciclicamente, cuantas veces sea necesario para añadir a la cadena proteica los aminoá-

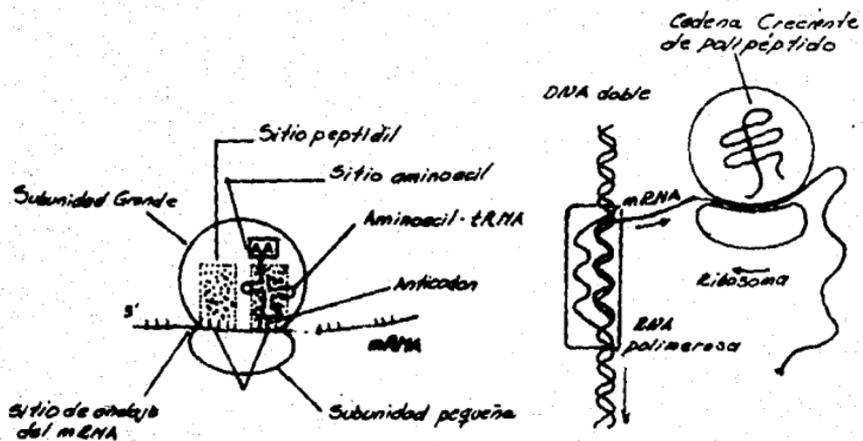


Figura 11 Representación esquemática del ribosoma y del complejo funcional de la traducción

cidos que la constituyen.

4- La última etapa en la síntesis de una proteína es la terminación, en la cual la adición de aminoácidos a la cadena polipeptídica es detenida debido al reconocimiento de señales de término específicas en el RNAm (codones que no codifican para ningún aminoácido y que por ello actúan como "señales" de término). El producto, la proteína, es entonces liberado por "factores de liberación", y las dos subunidades del ribosoma vuelven a separarse.

Ahora bien, las proteínas tienen una "dirección" (es decir, un extremo inicial y uno terminal) debido al carácter asimétrico de sus aminoácidos. Los experimentos de Dintzis concluyeron que las cadenas polipeptídicas se construyen comenzando por el extremo amino del aminoácido inicial, cuyo grupo carboxilo localizado en el otro extremo se combina con el grupo amino del siguiente aminoácido de la cadena. Asimismo, estos experimentos permitieron calcular que la velocidad de síntesis de proteínas en reticulocitos de conejo es de poco menos de un residuo de aminoácido por segundo, mientras que en E. coli y otras bacterias los ribosomas insertan aproximadamente 20 aminoácidos por segundo⁶⁵.

De la descripción anterior del proceso de traducción se deduce que el código genético consiste en la "equivalencia" de un codón o triplete de bases nucleotídicas del RNAm con un cierto tipo de aminoácido, lo cual explica la correspondencia entre el "idioma" escrito en 4 letras (las bases) de los ácidos nucleicos y el "idioma" de 20 letras (los aminoácidos) de las proteínas.

Desde un inicio pareció lógico, por consideraciones meramente numéricas, que cada aminoácido debía ser codificado solamente por un pequeño número de nucleótidos consecutivos en la cadena del DNA. Obviamente, se requería más de un nucleótido para codificar un aminoácido, pues existen solamente 4 bases en comparación con los 20 aminoácidos de las proteínas. Por otra parte, "palabras" de dos bases proporcionarían 16 combinaciones diferentes (4^2), mientras que "palabras" de tres nucleótidos especificarían 64 posibilidades distintas (4^3).

Así que un triplete de bases parecía una buena opción para codificar a cada aminoácido. Otras pruebas genéticas corroboraron lo anterior: por ejemplo, el virus de la necrosis del tabaco tiene una molécula de RNA de 1200 nucleótidos que codifican para las subunidades proteicas de su cápside, y estas contienen casi 400 aminoácidos: de esta manera cada aminoácido requiere $1200/400 = 3$ nucleótidos para ser codificado, asumiendo que el código no requiere "puntuación", es decir, pausas entre las "palabras".

Sin embargo, hacia 1960 se hizo clara la necesidad de una investigación bioquímica directa que identificara con precisión la naturaleza de las palabras del código.

En 1961 se publicaron los trabajos de M. Nirenberg y H. Mathaei⁶⁶, y poco después los de S. Ochoa y colaboradores. En ellos se prepararon polirribonucleótidos sintéticos de secuencia conocida, y se añadieron ribosomas aislados, los componentes usuales de la traducción y todos los aminoácidos. Mediante las secuencias conocidas de RNAm sintético se fueron estableciendo poco a poco las palabras del código, según los polipéptidos que se sintetizaban en el tubo de ensayo. Nirenberg y Mathaei encontraron, por ejemplo, que el triplete UUU es la palabra para el aminoácido fenilalanina (Phe), y Ochoa y colabs. encontraron que una molécula de polIA codifica para polilisina (Lys), es decir, que AAA es la palabra para Lys. Poco después se probó con RNAm sintéticos que incluyeran 2 tipos diferentes de nucleótidos, y calculando las frecuencias relativas de los tripletes posibles se pudo deducir en poco tiempo la composición de unas 50 palabras para los varios aminoácidos. Posteriormente, Nirenberg y Leder⁶⁷ encontraron que las palabras del código tienen una direccionalidad (por ej. GUU codifica para Valina, mientras que UUG para Leucina), y el mensaje se lee comenzando por el extremo 5' del RNA mensajero. Así pues, la dirección de lectura 5'-3' es la misma que ocurre durante la replicación del DNA y durante la transcripción o síntesis de RNA. Por medio del "ensayo de enlace" (binding assay), con el que se determinaba qué tipo de aminoacil-tRNA se enlaza específicamente a los ribosomas en presencia de un trinuc-

cleótido de secuencia conocida, Nirenberg y Leder establecieron la "gramática" de las palabras del código para muchos aminoácidos. Los datos reunidos por H. G. Khorana, Nirenberg y Ochoa condujeron a la identificación bioquímica de todas las palabras del código hacia 1965, muy poco tiempo después de las primeras investigaciones, así como a las especificaciones generales de este código^{68,69}:

-La primera característica es que éste código -como ya habíamos señalado- no requiere de "puntuación" o señales para indicar el fin de un codón y el comienzo de otro. Así que el marco de referencia de lectura (reading frame) debe ser perfectamente localizado por los ribosomas y el RNAt de inicio al comenzar la lectura de un RNAm, pues de lo contrario todos los codones serían leídos equivocadamente. Por ej. la secuencia AUCGUUGCA leída correctamente daría lugar a los codones AUG, GUU y GCA, pero si la lectura comenzara tan sólo un nucleótido después -es decir, estuviera "corrida"- se obtendrían los nucleótidos UCG y UUG, que codificarían para aminoácidos muy diferentes a la secuencia original. Lo anterior indica la importancia de una señal de inicio de la traducción adecuada en el RNAm.

-La segunda característica es la llamada degeneración del código genético, es decir, el hecho de que existe más de una palabra de tres nucleótidos para codificar a casi todos los aminoácidos. Por ej., los codones UCU, UCC, UCA, UCG, AGU y AGC codifican para el aminoácido serina (Ser). La degeneración del código genético es una característica de alto valor adaptativo para los organismos, pues la existencia de "sinónimos" actúa como un amortiguador contra las mutaciones puntuales que ocasionalmente ocurren en el material genético, en especial aquellas mutaciones que sustituyen una base nucleótida por otra. La degeneración del código genético tiene además una cierta regularidad y provee por ello de ciertas adaptaciones biológicas:

-La característica siguiente es una de ellas; consiste en que la tercera base del codón es menos específica que las dos primeras, lo cual se relaciona directamente con la llamada "degeneración" del código, ya que esta ocurre por lo general

en la tercera base. En general, las dos primeras bases son comunes a los codones de un aminoácido, o si las dos primeras bases se encuentran relacionadas con dos aminoácidos diferentes, la tercera posición será ocupada en un caso sólo por purinas y en el otro sólo por pirimidinas. Evidentemente, las dos primeras bases de un codón son las determinantes de su especificidad, mientras que la tercera base (la del extremo 3' del triplete) no tiene una complementariedad tan estrecha con el anticodón del tRNA, así que tiende a "bambolearse", como lo llama F. Crick⁷⁰ (wobble). Posiblemente el bamboleo ("woobling") optimiza la tasa de formación y disociación de la interacción codón-anticodón, armonizando la necesidad de una alta especificidad del código con una cinética eficiente (veloz) del proceso de traducción.

-Una cuarta característica consiste en que tres de los 64 tripletes (UAG, UAA y UGA) no codifican para ningún aminoácido. Posteriormente se comprobó que actúan como señales para la terminación de la síntesis de cadenas polipeptídicas.

-Por último, el código posee una cierta universalidad, es decir, es el mismo para todos los organismos, y solamente se han encontrado variaciones en los organelos celulares llamados mitocondrias, por lo que parece ser que esta variación es una adaptación secundaria, posterior a su inserción como endosimbiontes de los organismos eucariontes⁷¹. La universalidad del código genético sugiere la idea de que este apareció una sola vez en el curso de la evolución biológica (lo cual no quiere decir que hayan sido otras posibilidades anteriores que, por causas distintas, no llegaron a realizarse), y el hecho de que las dos primeras letras de los tripletes sean las determinantes para especificar un aminoácido dado puede indicar que las palabras del código estuvieron formadas por dobletes en algún momento de la evolución, y que codificaban solamente para unos 15 o 16 aminoácidos⁷². De hecho la degeneración del código genético es una característica con un gran valor adaptativo para las células: si solo se usarán 20 de los 64 codones posibles la mayoría de las mutaciones puntuales (modificaciones de una sola base) resultarían en tripletes que no codificarían para ningún aminoácido; por otra

parte, si en el código genético existe una mutación puntual resulta, en la mayoría de los casos, en la formación de un triplete sinónimo o en la sustitución de un aminoácido por otro, lo que frecuentemente produce una mutación silente -es decir, un producto génico de función inalterada. La degeneración del código genético funciona como una especie de amortiguador de las mutaciones, o permite la formación de proteínas mutantes que son funcionales y que pueden llegar a tener un gran valor adaptativo posterior, mayor que el de la proteína original (en el sentido darwiniano)⁷³.

Estas y muchas otras ideas pueden ser sugeridas para explicar el problema más interesante: el origen del código genético y, por tanto, de los componentes y funciones más básicos de todas las células. No es este, sin embargo, el lugar para discutir estos temas.

El código genético explica la traducción del mensaje hereditario contenido en los ácidos nucleicos al mensaje estructural y funcional de las proteínas, las moléculas más versátiles de la célula, cuyas funciones biológicas van desde la formación de estructuras celulares (como en el caso de la colágena), el transporte de iones y moléculas y la catálisis de las más diversas reacciones bioquímicas del metabolismo orgánico. Así pues, pasemos a hablar de estas moléculas.

1.3 Las proteínas o moléculas "ejecutoras" de las instrucciones genéticas.

Las proteínas son cadenas o polímeros de aminoácidos. Los aminoácidos, a su vez, son pequeñas moléculas que tienen ligado un grupo nitrogenado llamado "amino" (NH_2) y un grupo llamado "carboxilo" (COOH) e un grupo llamado "radical", que es una molécula orgánica (C, O, H....). Existen veinte aminoácidos diferentes presentes en las proteínas de los seres vivos, que difieren entre sí por sus distintos grupos radicales. La secuencia u orden de los aminoácidos a lo largo de una cadena (estructura primaria) determina la estructura tridimensional o conformación de la proteína. Esta conformación específica de cada tipo de proteína resulta -como en el DNA- de las interacciones eléctricas o iónicas de los átomos de los aminoácidos que la constituyen, y esto mismo determina el 'carácter' o naturaleza de la proteína: estas pueden ser "estructurales" (es decir, que dan forma y consistencia a una estructura y son "pasivas" como la colágena que actúa como pegamento entre las células de la piel, el cartilago y otros tejidos), o "funcionales" (o "activas" como la hemoglobina que transporta el oxígeno desde los pulmones hasta las células o tejidos que lo necesitan; o como algunas hormonas, que llevan señales de un órgano a otro). Además existe un tercer grupo de proteínas muy importante, difícil de distinguir de las proteínas funcionales: se trata de las enzimas.

Las enzimas son proteínas catalíticas, es decir, que incrementan la eficacia de las reacciones bioquímicas que se llevan a cabo en la célula, de tal manera que estas reacciones de transformación de materia y energía (metabolismo) puedan llevarse a cabo en las condiciones fisiológicas normales de la célula, sin necesidad de cambios bruscos o extremos en la temperatura y/o presión (como lo requeriría cualquier reacción química en un matraz). Por ello la importancia de las enzimas en el funcionamiento de la célula no puede ser exagerado: hacen posibles todos los procesos que se llevan a cabo en su interior, como son la obtención de energía por medio de la fermentación y la respiración, la elaboración de nutrientes con la ayuda de la energía del sol como en la fotosíntesis, el transporte de nutrientes desde el medio externo hasta el interior de la célula, el desalo-

jo de los desechos de esta, la reproducción misma e, incluso, los intrincados procesos eléctricos de la fisiología del sistema nervioso. ¡Y todas estas complejas reacciones químicas las realizan sin alterar las condiciones normales del organismo!

Cada una de las reacciones bioquímicas de la célula se lleva a cabo con una eficiencia en la utilización de la energía que supera la de cualquier máquina inventada por el hombre, y esto lo tienen siempre presente los ingenieros genéticos. Gran parte de esta eficiencia reside precisamente en el hecho de que las enzimas son altamente específicas de cada reacción: una enzima cataliza solamente una reacción del metabolismo celular, e interactúa con las sustancias reactantes en una relación estrecha de complementariedad -aquí también- eléctrica y espacial, conocida como de "llave-cerradura" (fig.12). Es decir, la enzima y el sustrato sobre el que actúa "embonan" perfectamente por sus características eléctricas y por su tamaño y forma.

Las enzimas, como vimos, también desempeñan un papel importante en el funcionamiento de los ácidos nucleicos: en la transmisión de los caracteres hereditarios (DNA y RNA polimerasas, ligasas, etc.) y en la ejecución de las instrucciones codificadas por el DNA y el RNA de cada especie biológica, (ej. peptidasas, aa tRNA sintetetasas).

Todas las demás moléculas de los seres vivos (azúcares, grasas, vitaminas...) son utilizadas, transportadas, transformadas e incluso producidas gracias a la actividad de las proteínas, especialmente las enzimas, y por ello al sintetizar o producir sus proteínas la célula está en realidad posibilitando su arquitectura y su funcionamiento globales.

Desentrañar la enorme complejidad de la estructura/función de las proteínas es, en realidad, el objetivo de la biología molecular en última instancia, pues no ha pasado por alto a la ingeniería genética que son estas moléculas -precisamente- las herramientas versátiles de la biología celular. Así pues, en la actualidad - como veremos más adelante- es propósito firme de la biología molecular desentrañar las leyes de la relación entre estructura de la proteína (secuencia de aminoácidos,

conformación tridimensional), y su función altamente específica en el metabolismo. Cuando ello se haya logrado, la ciencia actual podrá dominar en un grado desconocido y a voluntad de la naturaleza viva.

1.4 La revolución en la tecnología de la ingeniería genética.

La ingeniería genética se basa en la manipulación directa de los genes o segmentos de DNA que codifican para una proteína deseada, y de los mecanismos de expresión de estos genes. El conjunto de técnicas conocidas como ingeniería genética deriva, como ya decíamos, de la biología molecular.

El procedimiento principal consiste en el empalme de genes, que no es más que la transferencia del gene o genes deseados de un organismo a otro en donde su expresión sea más eficiente. Por ejemplo, el gene que codifica para la proteína insulina -necesaria en forma inyectable para los diabéticos- es transferido de las células humanas a unas bacterias que lo expresan continuamente debido a sus cortos ciclos vitales, y que han sido modificadas para que lo expresen "aceleradamente"; dichas bacterias anteriormente carecían del gen de la insulina, y con ellas se sustituye la extracción de esta proteína del páncreas de las ovejas, como hasta ahora se venía haciendo.

Para que los investigadores pudieran realmente manipular a su antojo el DNA, tuvieron que desarrollarse -previamente- varias e importantes técnicas:

En 1970 Smith y Wilcox aislaron una enzima que corta el DNA extraído de cromosomas en sitios específicos, generando pequeños fragmentos. Esta enzima recibió el nombre de endonucleasa de restricción⁷⁴, y a la fecha se han descrito más de cien enzimas de este tipo, que reconocen y cortan secuencias muy específicas en el DNA. Los extremos del fragmento del DNA cortado por una de estas enzimas pueden volver a unirse a otra molécula de DNA, utilizando otra enzima llamada ligasa⁷⁵. En 1973 Cohen y Boyer⁷⁶ demostraron que estas endonucleasas reconocen el DNA cromosomal de cualquier organismo, y lo rompen de la misma manera en que rompen el DNA del plásmido bacteriano (aquellos pequeños anillos de información extracromosómica a los que ya hacíamos referencia). Es decir, que en todos los DNA -desde el de la

bacteria hasta el del hombre- existen secuencias específicas de bases nitrogenadas que son reconocidas por estas enzimas; sitios vulnerables de ser rotos por las endonucleasas de restricción de manera análoga al de una hoja de papel doblada, que es cortada a lo largo de las líneas de sus dobleces.

Gracias a estos "sitios idénticos de reconocimiento" y a la especificidad de las enzimas cortadoras (por ej. la enzima EcoRI corta solamente donde se encuentra con la secuencia GAATTC y su palíndromo CTTAAG) las moléculas de DNA cortadas por la misma enzima se pueden "pegar" complementariamente entre ellas, aunque provengan de organismos muy distintos. O sea que con las endonucleasas de restricción se tienen las "tijeras" y el "pegamento" para cortar y pegar genes a voluntad, pues con el corte se producen "extremos pegajosos"⁷⁷. Este "corta y pega" es la llamada "técnica de DNA recombinante in vitro" -pues existe una recombinación análoga natural, in vivo, de los genes durante la formación de las células sexuales (Fig. 13).

Ahora bien, el material genético de cualquier especie contiene el DNA suficiente para codificar miles -e incluso millones- de proteínas diferentes, así que se planteó de inmediato la necesidad de saber como identificar y aislar el gen de la proteína deseada en esa inmensa maraña de cadenas de DNA. A la fecha existen varias técnicas que solucionan este grave problema:

a) La primera consiste en la utilización de una enzima llamada "reversotranscriptasa"⁷⁸. Esta enzima efectúa el papel inverso al de la RNA polimerasa: transcribe la información del RNA al DNA, o sea que produce una cadena de DNA a partir de un molde de RNA. La información aquí fluye en sentido contrario al acostumbrado, modificando lo que hasta entonces se conocía como el "dogma central de la biología molecular", que observaba que la información solamente podría fluir de DNA a RNA, y de este a proteínas. En las células en las que la síntesis de la proteína deseada es normalmente alta (células especializadas en producir esa proteína debido a sus funciones particulares), la cantidad del RNA mensajero de ese gen es lógica y relativamente mayor que en las demás células del cuerpo de ese organismo; por ej. en el caso de que se desee aislar el gen de insulina se recurre a la extracción de RNA

DNA de *Drosophila*

DNA del plásmido

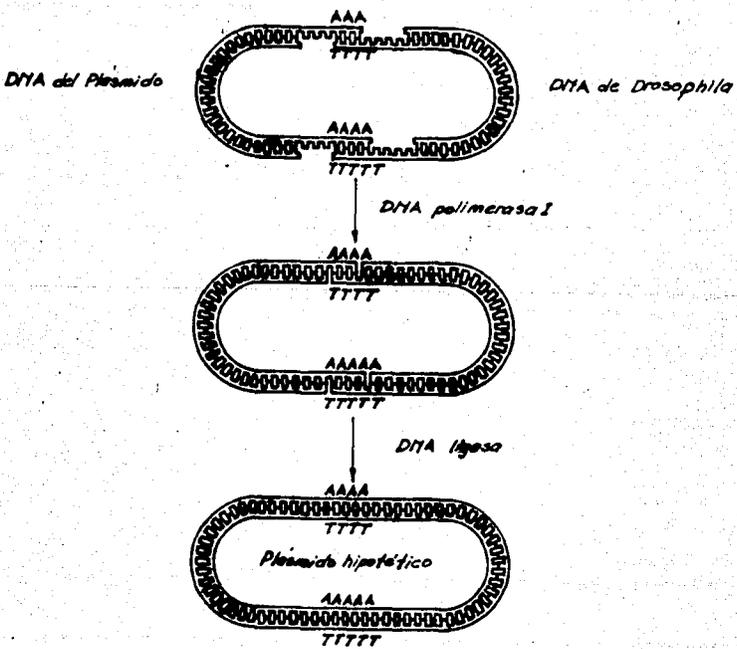
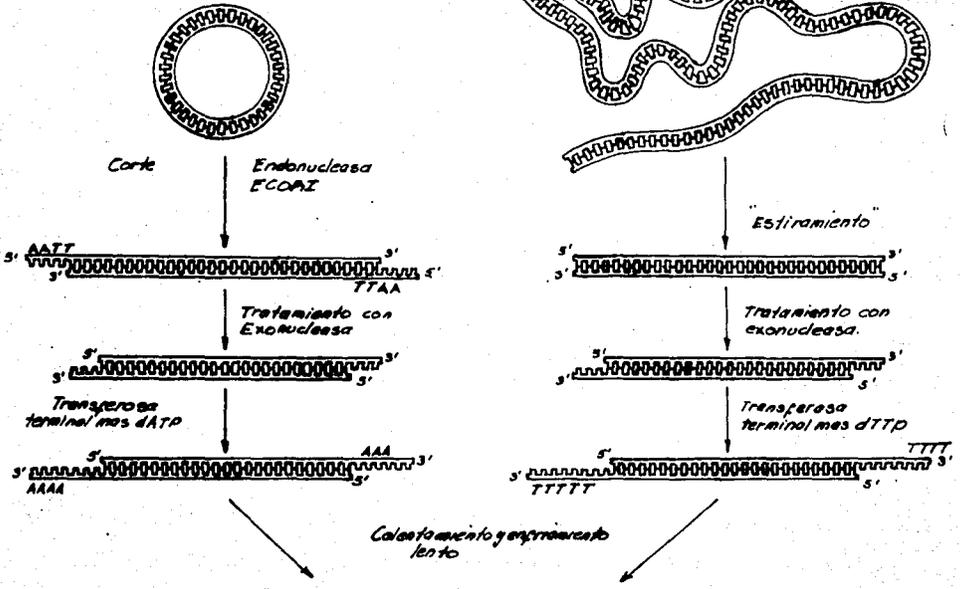


Figura 13 Recombinación in vitro (formación de un plásmido de DNA hipotético)

de las células beta del páncreas, que son las células especializadas en su producción. Después, con la ayuda de la reversotranscriptasa se produce, en condiciones artificiales (in vitro) la cadena de DNA o gen que ha de ser transferido al organismo que lo expresará en 'cantidades industriales'.

b) La otra técnica para obtener el gen deseado consiste en determinar la secuencia de aminoácidos de la proteína que codifica (lo cual, en la actualidad, no es mucho problema). Una vez conocida la secuencia de bases se sintetiza artificialmente el gen o cadena de DNA. Esto se hace ahora con genes pequeños, pero está siendo cada vez más recurrido gracias a la fabricación de "máquinas sintetizadoras de genes", que analizan una secuencia y después la producen; por ello esta técnica se encuentra ligada al desarrollo de la computación y constituye uno de los objetivos primordiales en la investigación y el desarrollo de la tecnología de punta⁷⁹. De hecho, la utilización masiva de la ingeniería genética, su aplicación industrial, es posible únicamente al relacionarla estrechamente con la computación, como ya se hace, debido a la enorme cantidad de información genética que contiene cada organismo y al número tan grande de bases nitrogenadas que constituyen a cada gen: información que sólo será accesible gracias a la velocidad y capacidad de "memoria". La caracterización de todo el genoma del ser humano, el conocimiento -gen por gen- de nuestras características biológicas, será entonces posible.

Volvamos, pues, a las técnicas del DNA recombinante.

Una vez identificado, el gen es cortado en sus extremos por alguna endonucleasa de restricción y trasplantado (empalme genético) hacia el DNA de otro organismo que haya sido cortado por la misma enzima. la molécula de DNA que contiene genes provenientes de dos organismos se llama vehículo molecular o vector (Bolívar et al., 1977)⁸⁰ y puede introducirse en bacterias u otras células por medio del mecanismo llamado "transformación" (Mandel y Higa, 1970)⁸¹. El vector o vehículo molecular puede ser un virus (que no es más que un segmento de DNA o RNA dentro de una cápsula de proteína), o un plásmido, y con su integración a una célula que se reproduzca continuamente (como una bacteria o una levadura), se logra la multiplicación acelera-

da del gen trasplantado. Esta metodología es conocida como "clonación molecular del DNA", y mediante ella se obtienen numerosísimas copias del gen que se desea reproducir, y grandes cantidades de células que, en el medio de cultivo apropiado (nutrientes, temperatura normal...), producirán incesantemente la proteína buscada. Por ej. en lugar de extraer insulina del páncreas de ovejas, para lo cual se requirieron grandes rebaños, se le obtiene de un tanque de fermentación en el que se encuentran células que anteriormente carecían de la capacidad de producirlas. El antiguo y limitado oficio de la selección y cría de especies animales y vegetales para su domesticación se ha transformado actualmente en la manipulación directa y racional de su material genético.

El último requerimiento esencial para el desarrollo de la ingeniería genética fué la utilización y transformación del modelo genético más extensivamente caracterizado, que es el de la bacteria Escherichia coli (E. coli). Esta bacteria, que normalmente vive en los intestinos del hombre, se ha convertido en el principal recipiente de genes extraños y en el organismo más recurrido para la investigación. Además de los serios peligros que implica la experimentación con un huésped normal de la flora intestinal humana y que adelante comentaremos, la utilización de un organismo "standard" ha posibilitado la profundización y análisis extremo de las características genéticas de este organismo. Ello ha llevado a un gran detalle del conocimiento, que ha permitido la rápida aplicación de las técnicas de DNA recombinante en numerosas ramas de la industria.

Destaquemos entonces que los conocimientos adquiridos por la biología molecular durante los últimos cincuenta años, y que encuentran su lógica aplicación en la tecnología de la ingeniería genética, representan una verdadera revolución en el estudio de los seres vivos y en la utilización que de ellos hace el hombre.

Pasemos pues a examinar las repercusiones sociales que esta nueva perspectiva y tecnología de lo vivo traerá consigo.

II. REPERCUSIONES SOCIALES DE LA BIOTECNOLOGIA.

2.1. Aplicaciones recientes de la Ingeniería Genética en diversas ramas de la producción.

La ingeniería genética, junto con la biología molecular, ha proporcionado un nuevo enfoque en el estudio de problemas netamente biológicos como son la evolución de los seres vivos, el desarrollo embrionario, la estructura y función celular, etc. Por ello el desarrollo acelerado de esta tecnología a partir de los años setenta es causa y efecto de su aplicabilidad -y aprovechamiento- en muy diversos campos de la producción. Los intereses económicos y sociales específicos del capital han determinado las áreas en las que la ingeniería genética ha recibido el mayor apoyo, y por lo tanto las áreas en las que las aplicaciones recientes, y sus resultados son más espectaculares.

2.1.1 Agricultura.

La nueva agricultura utiliza las técnicas de DNA recombinante en la producción de cultivos resistentes a plagas, enfermedades y suelos salinos. Recordemos que la selección de especies vegetales más productivas y resistentes era, hasta hace poco y desde sus remotos orígenes en los inicios de las sociedades humanas, una ardua labor de "cruzasiento", de domesticación que podía llevar años e incluso siglos de paciente labor. Este lento trabajo se vio drásticamente afectado y acelerado con la "Revolución Verde" basada en las nuevas técnicas de cultivo de tejido, la mecanización del campo y uso indiscriminado de fertilizantes y pesticidas químicos. La Revolución Genética actual proporciona la posibilidad de manipular con mayor rapidez a los genes, pues estas técnicas de selección pueden llevarse a cabo en un lapso de tiempo muy corto y dentro de un laboratorio, con una total eficacia: especificando la característica genética que deseamos para una planta e insertándole el gen que la codifique. Si bien todavía no se conocen los genes de todas las características deseables, ni el modo adecuado de insertarlos, así como las numerosas y sutiles relaciones entre genes y entre grupos de genes, la ingeniería genética hace ya grandes progresos a este respecto, y es la agricultura una de las ramas de

la producción que en la actualidad se encuentran cada vez más integradas a la ingeniería genética.

Utilizando como intermediario de la bacteria Agrobacterium que produce la enfermedad llamada "tumor de Crown" en plantas superiores, se ha logrado transferir información genética de un organismo procarionte a uno eucarionte¹. Empleando esta técnica se piensa transferir información de bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico, como Rhizobium, a plantas de gran utilidad para el hombre, como el maíz, con la finalidad de que estas, por sí mismas, sean capaces de utilizar el nitrógeno² haciendo innecesarios los fertilizantes artificiales (excesivamente costosos y continuamente). Dicho sea de paso, este trabajo fué realizado por primera vez por un mexicano, en Bélgica.

También se puede mejorar el valor alimenticio de algunos vegetales y cereales, añadiéndosele muchas copias de los genes de los aminoácidos requeridos por el hombre y que se han vuelto escasos en las dietas comunes.

Gracias a las nuevas técnicas de hibridación somática o fusión de células no sexuales, y de la ingeniería genética, es ya posible obtener híbridos como la planta llamada "jitopapa", que es el producto de la fusión de células procedentes de la papa y el jitomate. Se obtiene así una planta que en su parte aérea da frutos de tomate y en sus raíces dá papas³.

Un nuevo campo de esta agricultura "de vanguardia" es la producción de semillas sintéticas; este experimento se llevó a cabo en una planta híbrida de apio con la que se realizó clonación de embriones somáticos (es decir, embriones que son idénticos a las células somáticas, no germinales, del apio), que produjeron millones de semillas "sintéticas". Dicho experimento lo realizó una firma de biotecnología llamada Plant Genetics, Inc. localizada en Davis, California⁴. Gracias a esta técnica será posible, dentro de muy poco tiempo, "encargar" a un laboratorio un pedido de semillas de alguna especie vegetal con una serie de características específicamente adecuadas al lugar en el que se va a cultivar y a los 'gustos' del productor y recibir, en un corto periodo de tiempo, las semillas desarrolladas artificialmente

Es particularmente importante el caso de la revolución genética en la agricultura debido al papel primordial de ésta en las necesidades humanas y en el orden económico mundial. A pesar de todos estos beneficios aparentes que la ingeniería genética, puede aportar al campo, está la cuestión más esencial de la propiedad privada de los productos científico-tecnológicos agrícolas, de lo cual se deriva no sólo el uso (o modo de empleo) de la ingeniería genética sino los contenidos de la investigación de este campo. Los gravísimos problemas que puede acarrear el uso de las técnicas de recombinación del DNA en la producción agrícola incluyen:

a) La pérdida paulatina e irreversible de la diversidad de los cultivos, que ha sido labor producida y conservada por la humanidad, pues es materia prima en la producción de nuevas variedades, así como un importante auxiliar en el combate contra las plagas y las malas cosechas de una variedad, así como para la conservación del suelo.

b) La aprobación de las leyes que conceden a corporaciones transnacionales el control de patentes sobre las nuevas variedades que desarrollan. La cual significa además, el poder de dictar las condiciones de su venta cerrando el mercado a variedades nuevas o tradicionales. Así pues, existe una tendencia clara a privatizar cada vez más los procesos y productos agrícolas.

c) Debido a esta privatización, el contenido de las nuevas investigaciones y desarrollos de la ingeniería genética se enfocan a una mayor obtención de P.V.⁴ por parte de las transnacionales. Un ejemplo dramático de esto es que la ingeniería genética, potencialmente capaz de resolver el problema de las plagas eliminando la utilización de los peligrosos plaguicidas enfoca mejor sus energías a hacer plantas resistentes a estos agentes químicos. La razón es obvia: las empresas que realizan las principales investigaciones en ingeniería genética son las mismas que producen y comercializan los herbicidas. Así estas corporaciones tienen un completo control de todo el proceso agrícola⁵.

d) A nivel mundial la D.I.T.⁶ se verá seriamente afectada en detrimento de los países del III Mundo, que verán en muchos casos desplazada la producción de material.

⁶División Internacional del Trabajo.

rias primas y, cada vez más del Sur al Norte, asimismo, la alta productividad del Norte hará decrecer aún más los precios de mercado mundiales de los productos agrícolas. Sin embargo, no debe entenderse que, en sí misma la ingeniería genética es una tecnología negativa para el III Mundo, ya que puede ser el medio para aumentar la productividad alimenticia sin los altos costos y efectos anti-ecológicos de la Revolución Verde⁶.

2.1.2 Ganadería

La ingeniería genética al servicio de la producción pecuaria ha logrado la transferencia de embriones para hacer que animales como cerdos o vacas procreen un gran número de crías sin que disminuya la calidad de la producción⁷. También se ha hecho transferencia genética entre organismos de diferentes especies; se han creado ratones gigantes transfiriéndoles el gen de la hormona del crecimiento de la rata: esto tiene el potencial de criar ganado gigante en un futuro cercano⁸. De hecho el efecto más inmediato de la biotecnología en el Norte tendrá lugar en el sector lechero. Se previó que en el futuro próximo la producción de leche por vaca aumentará entre el 30 y el 50% sobre todo debido a la utilización de hormonas de crecimiento para ganado bovino. Las hormonas de crecimiento, producidas mediante bacterias transformadas por la ingeniería genética serán probablemente aprobadas por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los E.U. y llegarán al mercado entre 1988 y 89.

Detengámonos pues aquí, para hacer notar el tipo de imaginación que rige a todas estas nuevas aplicaciones e investigaciones: la imaginación deformada, capitalista; se trata de la ideología "monumentalista" (Lefevre)⁹. Retomaremos ejemplos como el de la jitopapa y el ganado gigante cuando, posteriormente, hablemos del tipo de biología que los posibilita.

2.1.3 Industria alimentaria en general.

La producción de alimentos ha dependido desde hace cientos y aún miles de años del proceso de la fermentación llevado a cabo por bacterias y levaduras. El queso, el yogurt y otros productos lácteos, la cerveza, el vino y las demás bebidas alcohólicas, así como las conservas en salado, la salsa de soya y demás productos orientales (como el natto y el miso), son algunos de los productos de la fermentación más conocidos¹⁰. La presencia y acción de las bacterias y levaduras no sólo mejora el sabor del alimento, sino que incrementa su contenido proteínico y colabora en la conservación y mejoramiento de la microbiota intestinal. Aunque la biotecnología en general ha mejorado, a lo largo de muchos siglos, la selección de cepas

bacterianas y de levaduras que permitan una mayor producción y una mejor calidad¹¹, la ingeniería genética comienza apenas a incursionar en este campo. La compañía Labbat Buwing Co. de Canadá posee el más grande fermentador para levaduras, y con la ayuda de la ingeniería genética desea fabricar la cerveza "dietética" (bajo contenido calórico) ideal. En Japón, especialmente la Empresa Kikoman y la Suntory investigan en la producción rápida y mejorada de todos los condimentos de la comida japonesa (soya, miso). En la actualidad se viene especialmente en la industria alimentaria, una competencia entre las levaduras y las bacterias como organismos ideales por las novedades de la ingeniería genética y en este caso las levaduras llevan una ventaja, por ser los organismos "tradicionales", en E.U. existen unas 13 toneladas de levaduras trabajando, es decir, 262 cuatrillones de células.

Mediante las técnicas de recombinación genética se ha propuesto la creación de cepas completamente nuevas, y el diseño de microorganismos que produzcan los efectos de sabor, olor y apariencia deseados para cada caso particular.

Además, como extensión lógica del hecho de que los microorganismos incrementan el contenido proteínico del alimento, se planea diseñar y producir organismos unicelulares que sean fuentes directas de proteínas para los seres humanos. "Proteína unicelular" es un término genérico que se aplica al concentrado proteínico obtenido de microorganismos celulares (levaduras, hongos, algas y bacterias); los cuales pueden cultivarse en una gran cantidad de medios relativamente abundantes y baratos, como los residuos del petróleo¹².

De hecho, este proyecto de "proteínas de origen unicelular" se ha intentado llevar a cabo repetidas veces en este siglo: durante la Primera y Segunda Guerras Mundiales se realizó incipientemente en Alemania, debido a la escasez de alimentos. En los años sesentas el proyecto fué retomado por la British Petroleum Company, ya que la levadura elegida como alimento (Candida lipolytica) requería como fuente de energía nutricional a los alcanos o hidrocarburos del petróleo. El aíza en los precios del petróleo, así como los obstáculos políticos derivados de la no demostración de que el producto -llamado comercialmente Tropina-, fuera completamente segu-

ro, impidieron que la multimillonaria inversión obtuviera los resultados esperados. Sin embargo, para 1979 existían 25 proyectos en estado avanzado de desarrollo para producir proteína unicelular utilizando principalmente como "sustrato" derivados del petróleo (metanol, etanol, parafinas...). Entre las empresas abocadas a este fin destacan: British Petroleum, Amoco, Mitsubishi, General Electric, Exxon, Nestlé, Hoechst & Ude y Sosa Texcoco (en México)¹³. Generalmente el metano (un gas que se encuentra en el petróleo) es el sustrato escogido en el que crecen las bacterias Methylophilus methylotrophus; el producto es conocido como Pruteen, y viene envasado en cápsulas. En la URSS, donde las fuerzas competitivas del mercado no operan, (hasta la fecha) se ha reportado que existen 86 de estas plantas industriales produciendo proteína unicelular; por lo menos 12 de ellas dependen de los hidrocarburos como fuente de carbón y energía para las células⁴. Destaquemos también, aunque después profundizaremos más en ello, la homogeneidad abstractificante de este alimento: ya no le basta al capital con las salchichas, cada una igual a las demás, pues con estas cápsulas ha desaparecido por completo toda diferencia, y se ha extinguido toda referencia a un tipo determinado de alimento. La lógica del valor, cuantitativa y abstracta, se impone sobre los valores de uso, cualitativamente diferentes¹⁵.

2.1.4 Medicina

Las técnicas de DNA recombinante han recibido un gran impulso en los campos de la medicina y la farmacología, debido al interés por la detección y cura de enfermedades genéticas. Algunos de los logros más notables son:

a) La producción masiva de proteínas importantes para el tratamiento de algunas enfermedades, y que anteriormente eran difíciles de obtener debido a la escasa cantidad en que se encuentran en los organismos de los que se extraían tradicionalmente. Se han aislado los RNA mensajeros de estas proteínas, se ha sintetizado su DNA complementario con ayuda de la enzima reverso-transcriptasa y se han transferido y clonado estos genes en organismos (bacterias y levaduras) que se reproducen rápida y continuamente, y que expresan aceleradamente a los genes transferidos. Esto se ha realizado con el gene de la hormona que estimula el crecimiento (somato-

tropina), con el gene del Factor VIII (una proteina importante en el proceso de coagulacion de la sangre y de la cual carecen los enfermos de hemofilia¹⁶), con el gene del interferon (una sustancia que secretan las celulas como defensa contra los ataques de agentes externos como los virus, y que puede ser util en el tratamiento contra el cancer), con el de la interleukina (otra proteina del sistema inmune que tambien puede ser usada contra el cancer), con el gene de la insulina (la proteina que transporta la glucosa del flujo sanguineo hacia las celulas que la requieren, y de la cual carecen los diabeticos), con el gen de la renina (enzima que controla la presion sanguinea)¹⁷.

b) Se han realizado los primeros intentos de curacion de enfermedades geneticas como la anemia falciforme (en la cual los globulos rojos de la sangre contienen proteinas -hemoglobina- anormales, lo cual les impide transportar el oxigeno de los pulmones a los tejidos), la talasemia (un tipo de anemia en la que los individuos adultos continuan produciendo la hemoglobina caracteristica de la etapa fetal) y los sindromes de Down y de Lesch-Nyhan (enfermedad neuronica que afecta principalmente a los varones, los cuales carecen de una enzima que incorpora bases nitrogenadas al RNA y al DNA). Dentro de muy poco tiempo se planea realizar el primer experimento genetico en humanos para corregir el sindrome de Lesch-Nyhan en niños¹⁸.

c) Se han podido identificar genes alterados o estimulados que estan relacionados con los canceres humanos de vejiga, colon, pulmon, senos, tejido nervioso y la leucemia (llamada "oncogenes"). El cancer parece ser un desorden que afecta propiedades basicas de las celulas, como son su ritmo natural de reproduccion y el reconocimiento del tejido al cual pertenecen¹⁹. Los genes defectuosos pueden provenir de un virus o vivir latentes dentro de las celulas a las que pertenecen, "en espera" de un agente carcinogeno (sustancias quimicas, radicales, etc.) que dispare (estimule) su actividad. Se han identificado, entonces, oncogenes celulares y virales^{20,21}, esperandose poder bloquear su accion por medio de las tecnicas de la biologia molecular o de productos obtenidos gracias a dichas tecnicas de la biologia molecular o de productos obtenidos gracias a dichas tecnicas, deteniendo asi el

proceso canceroso.

Aunado a esto, se han desarrollado técnicas de diagnóstico temprana del cáncer gracias a la detección de pequeñas cantidades de proteínas producto de los oncogenes²².

Adelantemos aquí la indicación de que el proceso capitalista de industrialización crea sus propias enfermedades²³ al alternar el equilibrio "ecológico" de las comunidades humanas. Entonces, el capital debe hacer un enorme esfuerzo (en investigación, experimentación, etc.) para neutralizar, que no resolver, estas enfermedades que él mismo propició; por esta vía, a la vez, se crean nuevas industrias que atentan más peligrosamente contra la salud (como la industria farmacéutica) e, incluso, contra la identidad genética de la especie humana.

d) Se han fabricado vacunas contra la malaria, y otras "vacunas virales" que atacan enfermedades múltiples: un virus es utilizado como vehículo que en su interior contiene los genes de los diferentes anticuerpos con que ha de auxiliarse el sistema inmune en su acción contra agentes extraños, infecciosos. Se han desarrollado vacunas contra enfermedades de tipo bacteriano (por ej. infecciones gastrointestinales) y, por último, se fabricó la primera vacuna contra el cáncer en mamíferos (llamada "Leukocell"), y que previene contra el virus causante de la leucemia en los gatos. Todo esto ocurrió en 1985²⁴.

e) También en 1985 se produjo una proteína natural, a escala industrial, que disuelve los coágulos sanguíneos en los casos de ataques del corazón (conocida como t-PA o tissue-type Plasminogen Activator), y que a diferencia del medicamento comúnmente utilizado que se introduce por medio de un cateter en la vía coronaria, es sencillamente inyectada por vía intravenosa²⁵.

El objetivo general de la introducción de la biología molecular en la medicina es el tratamiento de muchas enfermedades con el propósito de aumentar la experiencia de vida al máximo, así como la ampliación de un mercado de productos farmacéuticos, ya de suyo descomunal, con productos de la alta tecnología moderna.

2.1.5 Industria Química.

En este ramo la ingeniería genética comienza apenas a hacer su aparición, pero

a pesar de que aún se encuentra en la fase de la investigación, las aplicaciones que prometen sus productos habrán de modificar muy profundamente la estructura económica mundial (producción-circulación de materias primas, etc.). Veámos por qué estos nuevos productos son tan "originales":

a) Ha comenzado la utilización de enzimas degradantes de la lignina (polímero estructurante de la madera, que compone el 25% de su peso seco), que podrán ser producidas con técnicas de ingeniería genética, para la utilización del material orgánico -antes desperdiciado- de la madera (lo que se conoce como biomasa), es decir, para el aprovechamiento de la celulosa. La ruptura enzimática de la lignina genera compuestos aromáticos muy utilizados en la industria como olores y saborizantes artificiales; por su parte la degradación de la celulosa produce azúcares que podrán ser utilizados directamente en la alimentación mundial, o como materias primas en la producción de una gran variedad de sustancias químicas²⁶, que incluso podrían incluir un sinnúmero de combustibles alternativos de origen orgánico y renovables.

b) Se hacen ya los primeros intentos para rediseñar enzimas naturales (modificando sus secuencias de aminoácidos y por lo tanto su estructura), y alterar así sus funciones de tal modo que puedan ser aprovechadas en determinados procedimientos de la producción, ya sea como catalizadores de reacciones químicas, como productoras de nuevas sustancias o como degradadoras de desechos industriales.

Y más aún, actualmente se experimenta con el diseño y la síntesis de proteínas no naturales con el objeto de poder predecir, dentro de muy poco tiempo, la función de una proteína (enzima) a partir de su estructura²⁷. La conformación de una proteína es tan compleja, y sus funciones tan sutiles a nivel atómico, que la biología molecular no ha podido aún desentrañar todas las leyes que relacionen la estructura específica con la función determinada de una molécula de este tipo; sin embargo la tendencia intensificada actualmente en la investigación hacia la dilucidación de este campo promete resultados exitosos a corto plazo.

Una vez especificada la función que se desea que realice una enzima, se diseñará

su estructura y se sintetizará el gene (también artificialmente) que la codificará; entonces la ingeniería genética se ocupará de que la nueva proteína sea natural y eficientemente producida. Esta producción de estructuras genéticas se verá apoyada -y de hecho comienza ya a serlo-, por máquinas de síntesis automática de DNA y con sistemas computacionales como el CAD (computer-aided design) para ingeniería genética. Con ello, la producción de nuevas sustancias para el uso directo y de materias primas -conocidas y novedosas-, se verá incrementada y facilitada²⁸.

Como puede verse, todas las aplicaciones anteriormente descritas para los diversos ramos de la producción, y que seguramente no abarcan todas las posibilidades presentes y futuras, poseen un potencial práctico enorme: el aprovechamiento de recursos naturales no aprovechados anteriormente, la producción masiva de sustancias naturalmente escasas, el diseño y producción de nuevos compuestos "biológicos" que incrementarán las posibilidades de elección de materiales y energéticos para la producción, y finalmente la influencia de estos nuevos productos en la producción, es decir, la influencia de los productos de la biotecnología sobre la biotecnología misma. Llegados a este punto comenzará una fase completamente nueva e insospechada de la biotecnología.

2.2. Repercusiones de la Biotecnología en el Proceso de Trabajo.

Como vimos anteriormente, la biotecnología en general y la ingeniería genética en particular contarán con innumerables aplicaciones en casi cualquier rama de la producción. Mediante estas nuevas tecnologías será posible la obtención de nuevos productos (químicos, farmacéuticos, biológicos) o la producción a más bajo costo de otros que ahora son casi inaccesibles por la dificultad que presente su extracción y/o procesamiento.

El impacto de la biotecnología entonces es sumamente complejo. Con objeto de examinar sistemáticamente el terreno de estas transformaciones, así como las tendencias necesarias de este desarrollo, presentamos aquí las repercusiones de esta biotecnología en la estructura básica del proceso de trabajo, sobre el cual irá recayendo eficaz e inmediatamente este desarrollo "biológico" de las fuerzas productivas²⁹.

2.2.1 Producción.

El proceso de trabajo, en el que "el hombre medía, regula y controla su metabolismo con la naturaleza³⁰", requiere básicamente de un sujeto actuante, su objeto y los medios por los cuales transforma a este de acuerdo a una finalidad preestablecida. Los objetos de trabajo pueden ser las cosas que el hombre obtiene no directamente de la naturaleza, o materias primas, que son objetos que han sido modificados previamente por un proceso de trabajo anterior. Las materias primas, a su vez, son los ingredientes materiales que pasarán a formar parte directa del producto, o sustancias energéticas que median la transformación de estos ingredientes³¹. La biotecnología incide, primeramente de manera importante, en estos dos tipos de materias primas utilizadas en el proceso laboral, y lo hace de la siguiente manera:

2.2.1.1. Materias primas

- Diseñando y fabricando sustancias e "ingredientes" químicos y biológicos completamente nuevos, como polímeros de carbohidratos o de otro tipo que posean cualidades muy específicas (de textura, peso, elasticidad, etc.) adecuadas a fines determinados, o enzimas que efectúen trabajos casi irrealizables con la actual industria química, como son la degradación del plástico o la separación de la lignina y la

celulosa en la industria maderera y del papel. Todo ello se encuentra estrechamente ligado al desarrollo de la física de materiales.

- La sustitución de materias primas actuales no renovables, como las obtenidas a partir del petróleo, por otros polímeros igualmente transformables y que sean producidos continuamente por "bacterias mutantes", es decir, con bacterias diseñadas artificialmente con la ingeniería genética para cumplir tal función.

- La utilización de la energía biológica, sea esta de tipo químico, eléctrico o calórico. En realidad en cualquier procedimiento biotecnológico el hombre se apropia de la energía metabólica (o "de transformación") de la célula: esta energía incluye principalmente a la energía química, pero también a las otras dos, y al hacer esto el hombre se apodera de un procedimiento energético más eficiente que cualquiera de las máquinas construidas hasta la fecha por él. En efecto, las máquinas del hombre rara vez aprovechan más del 20% de la energía que consumen para su funcionamiento, pues el resto es liberado al medio ambiente como energía libre (calórica casi en su totalidad y no aprovechable); las células, en cambio, utilizan alrededor del 40% de la energía que consumen en la realización de su metabolismo.

Podemos pensar, además, en nuevas formas de utilización de la energía celular. Por ejemplo, utilizar las propiedades de las membranas celulares como conductores y capacitores eléctricos.

- Pero hasta aquí sólo hemos hablado de la utilización de la energía metabólica de la célula, mientras que la biotecnología también implica el despliegue de nuevas formas de obtención de productos energéticos, por ejemplo utilizando enzimas que degraden a la celulosa en sus azúcares componentes y a estos en alcoholes (por ejemplo etanol) mediante la fermentación realizada por bacterias y/o levaduras. Los alcoholes, es bien sabido, podrían utilizarse como sustancias combustibles que sustituyan, en último término, a la gasolina y otros derivados del petróleo. Seguramente la biotecnología obtendrá en el futuro no sólo estos derivados, sino sustancias energéticas completamente nuevas, como nuevas formas de alcoholes, grasas, etc³².

2.2.1.2 Medios

Con la biotecnología ocurre entonces una sustitución de instrumentos biológicos ya conocidos por otros más eficientes, y no sólo la creación de nuevos de ellos. Ello tiene también implicaciones revolucionarias en la estructura toda del proceso de trabajo.

Este es el caso, ya mencionad^o, de la obtención de insulina, que hasta ahora se habían obtenido del pancreas de las ovejas y que actualmente, gracias a la ingeniería genética, puede obtenerse de bacterias y/o levaduras. Este ejemplo es particularmente interesante: primero por que se logró la transformación directa de un organismo para que adquiriera una característica genética y bioquímica que naturalmente no le correspondía; ni las bacterias ni las levaduras "necesitan" de la insulina, previamente carecían del gen que codificaba esta proteína y, sin embargo, fueron transformadas en este sentido con ayuda de la ingeniería genética. Y en segundo lugar porque la sustitución de un rebaño de ovejas que pasten en inmensos campos, por unos cuantos tanques fermentadores que contengan a las células, implica una reducción real y considerable de espacio (es decir, existe una miniaturización del proceso de producción), y de las necesidades de insumo, en este caso alimento, cuidado y alojamiento del rebaño, etc. Por ello la biotecnología es un extraordinario medio de ahorro de los instrumentos de trabajo³³.

Las herramientas o instrumentos físicos o químicos serán transformados o sustituidos por instrumentos biológicos. Por ejemplo, los recipientes como tubos de ensayo u otros utilizados en la industria farmacéutica serán sustituidos por células, donde ocurrirán las reacciones químicas, si bien viviendo en tanques de fermentación debidamente adecuados a sus requerimientos fisiológicos .

Las bacterias sustituirán paulatinamente los complejos procesos de producción de las grandes industrias farmacéutica y química: toda esa complejidad técnica "exterior" quedará a cargo de los complejos mecanismos "interiores" celulares. Si bien deberá crearse una nueva complejidad industrial consistente en el control de las grandes masas de bacterias o levaduras; es decir, la tecnología necesaria para

soportar o contener estos procesos biológicos, que una vez iniciados serán automáticos³⁴.

Así como algunos de los nuevos productos genéticos serán utilizados como materias primas, otros serán consumidos como nuevos medios de producción: el diseño de enzimas que realicen las actividades químicas o de transformación deseadas, y su producción en grandes cantidades, no es más que la producción de nuevas herramientas de trabajo. Las enzimas de las células apropiadamente diseñadas realizarán los procesos mecánicos y/o químicos que anteriormente realizaban las calderas a altas presiones y temperaturas, así como los potentes reactivos químicos.

Evidentemente que los hombres han utilizado a la naturaleza biológica como instrumento de trabajo casi desde sus orígenes como especie. Tampoco es algo novedoso la modificación de la estructura biológica en vistas a perfeccionar la eficiencia de esta fuerza productiva: tales son las mutaciones o cambios genéticos aprovechados en el antiquísimo proceso de la domesticación de plantas y animales. Pero este es precisamente el punto donde interviene la biotecnología: lo que en el pasado se lograba modificar a lo largo de cientos o aún miles de años, y sólo dentro de límites sumamente estrechos, podrá ser deformado o perfeccionado dentro de un margen gigantesco y en unos cuantos días. En este sentido podríamos decir que la utilización de la naturaleza biológica previa a la ingeniería genética era una utilización "exterior" de lo biológico, por cuanto no dominaba firmemente las fuerzas interiores o esenciales de las cuales dependen las capacidades tendenciales al perfeccionamiento adaptativo de la vida misma.

2.1.1.3. Producto de la biotecnología

El producto de la biotecnología como trabajo será una "nueva generación" de sustancias que intervendrán en el proceso como materias primas, materias energéticas o como nuevas herramientas ; obviamente, con esta nueva generación de productos de todo tipo ocurrirá un gigantesco desarrollo en la manipulación del consumo mediante la creación de nuevos valores: alimentos, vestido, medicinas, aditamentos industriales de los alimentos como saborizantes, colorantes, conservadores, etc. El con-

tenido nocivo de estos valores de uso se "perfeccionará" deformando mayormente al sujeto social, principalmente dentro de la esfera doméstica del consumo .

En otro aspecto, la biotecnología modificará y racionalizará los productos secundarios y desperdicio de la producción de dos maneras:

1- Desarrollando procesos de producción biotecnológicos que arrojen desechos biológicos, no químicos sino biodegradables, y

2- Produciendo bacterias degradadoras de plástico y otras sustancias tóxicas consideradas actualmente como no-biodegradables, y que constituyen un importante problema en la contaminación ambiental del planeta.

Como vemos, la biotecnología posibilita, en mayor grado que ninguna otra tecnología, la creación de un proceso de trabajo ecologista (si bien es en el siguiente apartado que comentaremos esto con mayor profundidad, así como los bio-riesgos posibles).

De hecho la ingeniería genética y la biotecnología son ya fuentes productoras de una gran cantidad de productos consumibles como medios de producción o de subsistencia. No podemos imaginar la enorme cantidad de productos de la biotecnología que habrán de venir, pero lo que sí podemos afirmar es que la biotecnología actual está fundada en los conocimientos y herramientas de la física y la química existentes: otra será la biotecnología del futuro que se funde sobre los resultados de la propia biotecnología^{37,38,39}.

2.3. Repercusiones Ecológicas y de Seguridad de la Ingeniería Genética (Bio-riesgo).

2.3.1 El Debate

La asombrosa capacidad de transformación directa de los organismos por medio de la ingeniería genética seguramente desembocará -como ya vimos- en una gran cantidad de usos y aplicaciones que producirán una enorme expansión del sistema de necesidades, sobre todo a partir de la década de los noventa. Pero paralelamente o, mejor, simultáneamente con los beneficios de la obtención de grandes cosechas, de nuevos materiales y energéticos, así como de nuevos medicamentos y procedimientos de cura-

ción⁴⁰, aparece la posibilidad de disparar accidentalmente epidemias incontrolables producidas por organismos recién creados, desequilibrios ecológicos catastróficos o, más aún: nuevas armas militares bacteriológicas, así como el control directo del material genético de los seres humanos como vía para la "programación" de los sujetos.

Frente a tantas y tales posibilidades funestas que contradictoriamente tras consigo la nueva biotecnología, se levantaron primeramente las protestas de la comunidad científica de los E.U. y Europa, es decir, de aquellos que por tener íntimo conocimiento de la recién nacida ciencia y de sus aplicaciones, imaginaron también sus posibles consecuencias nocivas. El asunto del "mal uso" de la tecnología del DNA recombinante⁴¹ debía tener -pensaron- un lugar especial en la agenda política de sus respectivos gobiernos.

El debate acerca de la legislación de las técnicas de DNA recombinante comenzó en E.U. en 1974 cuando los investigadores en las áreas más avanzadas de este campo, por medio de la National Academy of Sciences, declararon una moratoria voluntaria en cierto tipo de experimentos que juzgaron riesgosos. En 1976 los Institutos Nacionales de Salud en E.U. (NIH) emitieron los lineamientos generales (no leyes ni reglamentos) concernientes a la investigación de moléculas de DNA recombinantes. Estos lineamientos fueron la culminación de un esfuerzo de autorregulación por parte de la comunidad científica y fueron el producto de las conclusiones de un Congreso llevado a cabo en Asilomar, E.U. en 1975. En los lineamientos del Congreso de Asilomar tuvo una gran influencia el Reporte Ashby preparado por una comisión inglesa y que concluía lo siguiente:

- a) Las precauciones tomadas deben abarcar en lo posible el mayor número de riesgos probables.
- b) Además de la seguridad física (physical containment) debe existir una seguridad biológica (biological containment).
- c) El trabajo con grandes volúmenes de cultivos es más riesgoso que hacerlo con volúmenes pequeños.

d) Los investigadores deben de estar familiarizados con las técnicas de manejo de organismos patógenos, comunmente empleados por microbiólogos médicos.

e) El investigador individual es responsable⁴² del juicio sobre los posibles riesgos y del mantenimiento de la higiene en el laboratorio⁴³.

Posteriormente estos lineamientos fueron adoptados por los NIH; sin embargo, dada su generalidad, el debate continuó. En marzo de 1977 la misma Academia Nacional de Ciencias en Washington tuvo que patrocinar un foro público en el que participaron no sólo los científicos, sino también otros grupos de la sociedad que reiteraron que "la ciencia tiene demasiadas consecuencias como para ser autorregulada sólo por los científicos o como para usar un velo de castidad política"⁴⁴. Diversos grupos civiles y científicos, desde el "Quality of life Board" de San Diego, Calif. hasta el "Cambridge City Council" de Inglaterra, tuvieron una respuesta ante el debate.

En E.U. se crearon también comités locales de seguridad y el "Comité Consultivo del DNA Recombinante" que, por cierto, fué acusado recientemente de negligencia al evaluar los daños potenciales que representan la liberación sin control de organismos genéticamente nuevos; y era de esperarse, pues al Comité "...pertenecen algunos de los científicos más involucrados con los intereses de las nuevas empresas de biotecnología"⁴⁵.

Por otra parte varios países, incluyendo a los E.U., han formado una Convención legal internacional en la que renuncian a la producción de armamento biológico, incluyendo la investigación para producir los agentes necesarios. Es de recordarse que los tratados internacionales son firmados para ser ignorados después⁴⁶.

En general la sociedad carece de información acerca de los peligros de una guerra bacteriológica y del estado actual de las investigaciones en este campo, y la única o principal preocupación que se ha despertado acerca de la ingeniería genética en E.U. y Europa ha sido el peligro de que nuevas cepas propaguen enfermedades y fenómenos desconocidos. Es decir, hasta ahora se trata únicamente de evitar accidentes de laboratorios y de imponer medidas de seguridad adecuadas en la experimentación. Sin embargo, la adopción de una legislación adecuada en este campo de la investiga-

ción civil se ha visto obstaculizada por la ausencia de un conocimiento real de los riesgos que implica esta nueva tecnología; esto se debe en gran parte a "una carencia de interés y de apoyo financiero a la investigación sobre los bio-riesgos potenciales"⁴⁷. Esta actitud es primordialmente norteamericana, y contrasta con la perspectiva europea donde existe una mayor preocupación por obtener bases experimentales que permitan calcular los riesgos de accidente de la experimentación con DNA recombinante. La política de "laissez-faire" norteamericana no permite -cuando le es conveniente- que ningún factor limite el avance tecnológico y sus aplicaciones industriales; de hecho, en los alrededores de Boston, por ejemplo, donde está surgiendo un laberinto de reglamentaciones contradictorias, estas empiezan a obligar a algunas empresas a marcharse de esa zona, mudándose a la "más libre" California⁴⁸.

Ahora bien, después de las protestas suscitadas dentro de la sociedad civil en los setentas, la presente década vive, en general, una regresión casi completa en cuanto a las exigencias de su seguridad. En los setentas y comienzos de los ochentas hubo incluso una gran presión sobre el Congreso de los E.U. para que se legislara con severidad en este campo, y aún se pidió "... que se proscribieran todas sus actividades" . La palabra "biohazard" (riesgo biológico) estaba en boca de todos, imaginando con ella grandes epidemias y monstruos escapados de los laboratorios. Finalmente, en la década presente, al proseguir la investigación sin accidentes -aparentemente-, "...el furor comenzó a mitigarse"⁴⁹. No sólo el Congreso no llegó a formular ninguna legislación al respecto, sino que incluso el propio NIH procede actualmente a suavizar los lineamientos dictados en 1976⁵⁰.

Sin embargo, el reflujó en el movimiento de protesta contra la utilización de la ingeniería genética pertenece a la tendencia general de los movimientos alternativos, pacifista y ecologista, y es de esperarse su futuro resurgimiento: el potencial gigantesco de la biotecnología es sólo comparable al de la energía atómica, cuya introducción pasó por alto los riesgos ecológicos de un accidente⁵¹, y es más que probable que los miembros del movimiento "Anti-Nuke" (contrarios a las plantas nucleares), sobre todo en Europa, se unan al movimiento en contra de la nueva biotec-

nología, de lo cual ya hay indicios⁵².

3.2 Los riesgos de la Ingeniería Genética, aquí y ahora.

Ahora bien, ¿cuáles son los riesgos reales que implica la biotecnología? o, mejor, ¿en qué consiste la forma particular que revestirán los desequilibrios ecológicos provocados por ella?:

Primeramente observemos que las respuestas a tales preguntas de ninguna manera pueden ser unilineales e inmediatas, como lo han pretendido las dos tendencias o perspectivas extremas que se oponen, la tecnologicista y la ecologista. Es decir, no podemos afirmar que la biotecnología sea completamente nociva, así como tampoco podemos afirmar lo contrario; mas bien la biotecnología, como toda fuerza productiva capitalista - y por lo tanto escasa-, es una tecnología contradictoria, que encierra en su seno las dos determinantes contradictorias, es a la vez fuerza productiva y fuerza destruictiva. Veamos.

Hasta ahora ha sido el movimiento ecologista de E.U. y Europa el que ha señalado con mayor certeza y radicalidad la esencia del peligro que encierra la ingeniería genética. Los ecologistas no sólo han destacado el riesgo potencial de los accidentes biotecnológicos o de las armas bacteriológicas, sino que -más importante aún- han señalado que la utilización de una técnica que crea organismos nuevos -"híbridos exacerbados"-, careciendo de una ciencia biológica globalizadora, no permite preveer los desequilibrios y la nociva utilización que se hará de ella. En efecto, al indicar que los fundamentos filosóficos de las posturas "ecologista" o "bioingenierista" son irreconciliables entre sí⁵³, no han hecho más que señalar la esencia nociva o negativa de la ciencia capitalista: los ecologistas luchan contra una biología analítica y cosificante que segmenta de tal modo a los organismos que llega a definirlos meramente como cajas de genes, no tomando en cuenta las interacciones entre sus componentes y, menos aún con el medio ambiente. A pesar de tal ignorancia, la biología moderna pretende "reinventar el mundo". Los ecologistas, certeramente, señalan así el riesgo más inmediato de la biotecnología: si bien se ha hablado de las grandes epidemias que podrían desatarse, o de la terrible guerra bacteriológica -peligros

reales potenciales-, se olvida que aquí y ahora se encuentran con nosotros una nueva categoría de seres vivos que son el producto de una mezcla cuasi arbitraria de genes, que son organismos "desequilibrados" como las levaduras que producen enormes cantidades de insulina o, más aún, la monstruosa "jitopapa", cuyos efectos en el ecosistema terrestre no podemos predecir. Es más, ¿qué tan sanos o benéficos pueden ser los productos "naturales" de un organismo desequilibrado?

Si estos productos, que serán las nuevas mercancías del siglo XXI, pueden ser nocivos, ahora sí cabría preguntarse -más allá de esto- sobre la peligrosidad de un accidente o de una iniciativa que desencadenaría fenómenos totalmente nuevos: enfermedades, devastaciones ecológicas, ruptura de cadenas alimenticias, etc.

En efecto, si bien la falta de información ha confundido a muchos, se ha llegado a coincidir en la discusión de algunos riesgos evidentes, como son:

1) La creación de nuevos organismos patógenos, bastante peligrosos, mediante la síntesis de secuencias de nucleótidos que codifiquen la producción de toxinas potentes, y que puedan ser transferidas a E. coli, usualmente inofensiva.

2) La misma utilización de E. coli (cepa K-12) como hospedero casi universal en las investigaciones sobre DNA recombinante. Esta bacteria es un huésped normal del intestino humano y de ahí el riesgo que se corre al experimentar con un organismo que guarda tan estrecha relación con el hombre y que, por ello, pueda infectarlo tan fácilmente. Los investigadores argumentan que la vasta información acumulada sobre E. coli la hace invaluable; que la cepa K-12 utilizada en la investigación de los laboratorios ha sido tan modificada genéticamente que sólo sobrevive con dificultad en el intestino humano, y que las nuevas cepas de K-12 han sido desarrolladas con deficiencias genéticas adicionales que harán imposible su supervivencia fuera de las condiciones del laboratorio. El empleo de tales cepas genéticamente deficientes es lo que se conoce con el término de "seguridad biológica" (biological containment).

3) Otra controversia es la necesidad de centralizar en lugares remotos los laboratorios donde se lleva a cabo la investigación en la ingeniería genética. La investi-

gación con un mayor riesgo potencial debe ser concentrada en lugares donde se tenga un estricto control de los procedimientos. Particularmente urgente es considerar la posibilidad de realizar los experimentos que se llevan a cabo por primera vez en lugares centralizados y con servicios de prevención de altos riesgos. Un riesgo de magnitud desconocida es la posibilidad de que fragmentos de DNA de un organismo con funciones desconocidas o reprimidas pueda duplicarse y originar peligros desconocidos.

Pero los riesgos no sólo se localizan a nivel de la investigación básica, sino -más importante aún por los volúmenes de su producción- en las empresas privadas que, además, se niegan a revelar sus experimentos de ingeniería genética por ir en contra de los intereses de productor-propietario privado, y por que la legislación defiende estos llamados "secretos tecnológicos" de las industrias.

Y, más allá de estos se encuentra el riesgo social más grande, que es el uso deliberado de estas técnicas para fabricar armamento biológico, incluyendo investigación para producir los agentes necesarios. Las técnicas de recombinación de DNA no requieren grandes o costosas instalaciones, ni instrumentos altamente sofisticados, y por eso son ideales en la producción de armamento organizado o de sabotaje y terrorismo. Se ha afirmado que armas de este tipo han sido utilizadas por los E.U. contra Nicaragua y Cuba, provocando epidemias de cólera, y por la U.R.S.S. contra Afganistán; sin embargo la comprobación irrefutable de que tales armas han sido utilizadas es prácticamente imposible⁵⁴. Lo que sí sabemos es que los E.U. iniciaron la investigación sobre armamento biológico y toxinas en 1941-42 durante la Segunda Guerra Mundial, y que su desarrollo y almacenamiento no fué detenido sino hasta 1969 como resultado de las protestas contra la guerra de Vietnam⁵⁵. En 1972 los E.U. y otras cien naciones firmaron la Convención de Armas Biológicas y Toxinas que prohíbe el desarrollo, la producción y la posesión de estas armas, pero a partir de la presente década los E.U. volvieron a expandir su investigación como resultado de las sospechas de que la Unión Soviética ha utilizado este tipo de armamento; como resultado de ello el presupuesto de los E.U. destinado en 1986 para la investigación de armas biológi-

cas ascendió a 60 millones de dólares, y en septiembre de ese mismo año se realizó un congreso multinacional con el objetivo de revisar el convenio de 1972, que actualmente está siendo puesto en cuestión⁵⁶.

2.3.3 El movimiento alternativo ecologista

Ahora bien, volviendo a los ecologistas, éstos también han indicado que la lucha nodal de las futuras décadas se llevará a cabo precisamente entre los "ecologistas" -con una visión 'total' de la vida-, y los "bioingenieristas" -con una perspectiva analítica y cósmica de la misma; afirmación que, si bien no es exagerada, deberemos matizar mucho más: la lucha ecologista tendrá posibilidades de éxito y de no quedar atrapada por el capital, sino de trascenderlo, solamente si, forjando parte esencial del movimiento obrero, retoma y desarrolla la crítica de la economía política que le sirve a éste de fundamento⁵⁷.

Hasta el momento el movimiento ecologista no ha comprendido a cabalidad su íntima relación con la crítica marxiana del desarrollo capitalista e histórico global. Por ello puede caer en el gigantísimo error de creer que el camino por el que deberá optar la humanidad será el de la renuncia al incremento de la productividad material, y más bien ajustar sus necesidades, limitándolas a lo que la naturaleza "quiera" proporcionarle (1), y todo ello con la 'intención' de no provocar un desequilibrio ecológico mayor que el actual⁵⁸.

Es decir, una parte importante de los ecologistas propone dar marcha atrás hacia la era de las cavernas⁵⁹. Esta ingenua postura no se percató de que es precisamente el desarrollo de las fuerzas productivas técnicas y procreativas y de la riqueza material-social el que posibilita la libertad del género humano⁶⁰, y el que expresa la especificidad básica del hombre: el desarrollo limitado de sus necesidades y sus capacidades. Y precisamente es la ausencia de una teoría científica de la realidad social la que les impide ver a los ecologistas lo que ya al principio de este apartado señalábamos: que la ingeniería genética no puede ser definida como completamente nociva o como absolutamente benéfica. Mas bien se trata de una fuerza productiva esencialmente contradictoria, que exacerba los peligros ecológicos al tiempo que

posibilita una relación más armónica y equilibrada del hombre con la naturaleza. Veamos cómo.

Tanto la industria farmacéutica, como la de transformación del petróleo en sus derivados, así como la agricultura moderna, descansan actualmente en la producción de sustancias químicas o "artificiales" altamente contaminantes, costosas y absorbentes de recursos naturales no renovables: drogas, medicina, materiales diversos, solventes, abonos, fertilizantes del suelo, y sustancias conservadoras, saborizantes y colorantes son algunas de estas sustancias químicas nocivas para la salud de los individuos y para el ecosistema global.

Ahora bien, con la ingeniería genética se abre la posibilidad de sustituir estas sustancias químicas por otras de origen biológico y, por ello, potencialmente más adecuadas a las necesidades vitales del ser humano. Se trata de sustancias más complejas, que poseen precisamente el mismo nivel de organización de las moléculas orgánicas de que está compuesto el hombre; son similares e incluso iguales a sus propias sustancias orgánicas.

El cáncer, por ejemplo, enfermedad tan compleja, se resistió a ser comprendida y curable por la medicina alopática u "occidental" hasta que se emprendieron para su investigación métodos más biológicos, y menos procedimientos violentos -físicos o químicos. Evidentemente no es lo mismo pretender curar el cáncer con interferón (una proteína orgánica que secretan las células como defensa contra los virus) o con anticuerpos que destruyan específicamente a las células malignas, que curarlo con radiaciones, cirugía (¿mutilación?) y/o quimioterapia.

La medicina alopática, basada totalmente en el uso de drogas químicas artificiales, de las que generalmente se desconocen sus efectos secundarios, será al menos complementada con los futuros anticuerpos fabricados por la biotecnología: anticuerpos que vendrán a fortalecer el sistema inmune propio del cuerpo, y no a obstaculizarlo y/o sustituirlo. Con lo anterior no queremos decir que estemos de acuerdo con los principios de la moderna medicina occidental -coparticipe de los criterios de cientificidad de la biología que aquí criticamos-, esencialmente violenta y extrema

con los cuerpos que pretenden curar. Lo que sí creemos es que la utilización de sustancias biológicas "más equilibradas" posibilita el camino hacia una medicina alopática más armónica que quizás podría, en el futuro, acercarse a otro tipo de conocimientos, como los de Oriente o como las tradicionales herbolarias de todos los pueblos.

Sin embargo, no es en el caso de la medicina donde mejor se aprecian actualmente las tendencias ecologistas de la ingeniería genética sino, significativamente, en la agricultura. En efecto, la crisis de los agricultores en los E.U. y las premisas ecologistas asumidas implícitamente (aunque algunos lo nieguen) han desatado en este país un movimiento conocido como "agricultura alternativa", encabezado por el Land Institute de Kansas, un instituto de investigación genética financiado privadamente y que funciona como empresa capitalista⁶¹. La investigación que ahí se realiza busca sustituir la agricultura erosionante y de costosas aplicaciones de fertilizantes, pesticidas y mecanización por una agricultura que reduzca costos y contaminación, y esto por medio de técnicas de conservación que van "desde el antiguo cultivo orgánico hasta la hibridización avanzada"⁶². Es decir, lo que la "agricultura alternativa" desea es la combinación de técnicas tradicionales como la rotación de cultivos, el policultivo armónico -es decir, no sólo sembrar el vegetal "principal" sino también otros que lo complementen evitándole plagas, etc.-, la eliminación de procesos violentos y erosionantes -como el uso de tractores-, etc., con algunas aplicaciones de la más moderna ingeniería genética, como son el diseño de variedades adaptadas a cada región, de plantas fijadoras de nitrógeno que evitarán los fertilizantes, o la obtención de cosechas de granos perennes que puedan eliminar la costosa resiembra anual de trigo y maíz. Es además muy importante destacar que esta "tecnología alternativa" no es un movimiento de la sociedad civil, sino que significativamente es una empresa propia del capital, que en su búsqueda por un mayor plusvalor se vé obligado no sólo a desarrollar las fuerzas productivas técnicas, sino a dar marcha atrás en su proceso de deterioro de la biósfera, una vez alcanzado cierto límite en el desarrollo de su destructividad.

La biotecnología, entonces, tendencialmente posibilita una mayor productividad o riqueza material sin recurrir a la destrucción del equilibrio ecológico, siempre y cuando cumpla con una importante condición: partir de un conocimiento básico global, totalizador, de los organismos; lo cual no será posible de manera generalizada bajo la actual perspectiva de la ciencia.

III. CONDICIONES HISTORICO/CAPITALISTAS DEL SURGIMIENTO Y DESARROLLO DE LA BIOLOGIA MOLECULAR.

3.0. Introducción.

El redescubrimiento de las leyes de la herencia de Mendel en 1900, las numerosas investigaciones de los genetistas evolucionistas a principios de siglo (como las de De Vries), y los trabajos de genética experimental realizados con la mosca de fruta por Morgan y colaboradores a partir de 1910, trajeron consigo la aceptación casi universal de la genética mendeliana o clásica cuyo avance, sin embargo, se vio seriamente limitado por la ausencia de un concepto físico, material, del gene. Simplemente se nombraba a los genes como los "factores de la herencia", pero se desconocía su naturaleza química y, consecuentemente, el modo por el cual transmitían la información genética dentro de un organismo y de una generación a otra.

A pesar de que los ácidos nucleicos (DNA y RNA) fueron descubiertos en 1869 por un químico alemán llamado Friedrich Miescher (1844-1895), su significado e importancia para el estudio de la herencia solamente se apreció como señalamos en el capítulo I, hasta bien entrado el siglo XX.

La solución de estas cuestiones encontró un camino fructífero cuando en la década de los 30's apareció una línea de investigación que conjugó a la física y a la biología, y que condujo al nacimiento de la biología y la genética moleculares. El estudio de este momento histórico preciso reviste gran importancia, porque en él se conjugaron los diferentes factores que permitieron el explosivo avance de este nuevo campo de la ciencia. ¿Por qué surgió esta nueva orientación en la biología? ¿Quién la apoyó y la apoya económicamente? ¿Ahora bien, contestadas estas preguntas, ¿la respuesta afecta a la forma y al contenido de esta ciencia? ¿Cuál es su contenido ideológico?

Una vez descritas algunas de las repercusiones de esta ciencia en el proceso de trabajo y en el equilibrio ecológico del planeta recordemos que la hipótesis principal del presente trabajo es que la biología molecular puede ser mejor comprendida, tanto en sus orígenes como en sus tendencias de desarrollo, desde el marco

del materialismo histórico. Esta hipótesis general podría, por lo tanto, ser desglosada en otras tres: a) la ingeniería genética es el producto de una sociedad específica, b) a la vez que condición de la reproducción material de la misma, y -como cualquier acción humana-, c) se efectúa mediante la unidad de teoría-práctica que postula la teoría del proceso de trabajo. Así pues, si especificamos históricamente, debemos poder demostrar que la biología molecular es un desarrollo adecuado y "natural" de la biología moderna, y es precisamente el capital del Siglo XX el que configura a su "imagen y semejanza" la ciencia y la tecnología biológicas dominantes.

La argumentación precedente y siguiente no basta para que la biología molecular sea un desarrollo "necesario" de la sociedad actual. Para ello es necesario una demostración de su necesidad tanto coyuntural (por ejemplo la importancia de las nuevas tecnologías ahorradoras de energía, ante la crisis del petróleo), como estructural (los mecanismos por los cuales actúa el P.V. relativo y el P.V. extraordinario). Ambos razonamientos se detallarán en un trabajo posterior.

Habré, pues, que explicitar la forma social que adquiere esta nueva ciencia y tecnología nacida bajo condiciones histórico-materiales muy precisas.

3.1 Financiamiento.

La biotecnología actual, con sus aplicaciones, repercusiones y riesgos específicos, se basa principalmente en los conocimientos obtenidos por la biología molecular. Veamos ahora cómo es que, de manera ejemplar esta forma particular de la biología es el producto concreto del capital que dirigió sus orígenes y su desarrollo. Por lo tanto, deberá entenderse la historia de esta ciencia especializada no solamente como el advenimiento de desarrollos teóricos y conceptuales, sino también como el resultado de políticas e iniciativas económicas muy específicas, así como de la inundación de capital industrial a la investigación académica.

En las décadas de los treinta y cuarenta la Fundación Rockefeller jugó un papel 'formativo' muy importante en la biología molecular. "Las Fundaciones representan una forma social específica de capital. En el caso de la Fundación Filantrópica Rockefeller el capital acumulado provenía de la industria petrolera en Norteamé-

rica, en donde las compañías de J.D. Rockefeller lograron una posición dominante en un período poco competitivo y de concentración económica desde 1860 en adelante¹.

Una inmensa donación por parte de Rockefeller hizo posible la fundación de la Universidad de Chicago en 1891. En asociación con su hijo creó instituciones "filantrópicas" muy importantes, que incluían al Instituto Rockefeller para la Investigación Médica (ahora Universidad Rockefeller) en la ciudad de Nueva York (1911), el Consejo General de Educación (1902), y la Fundación Rockefeller (1913). La suma de sus donaciones alcanzó más de tres mil millones de dólares².

En los años veinte la Fundación desembolsó grandes sumas de dinero para construir las universidades americanas. Hacia 1929 esta política 'generosa' fué revisada y la estructura de la empresa fué replanificada: una sólo Fundación dió origen a cinco Divisiones separadas; la estrategia del apoyo general para la educación científica y profesional fué transformada y encaminada hacia un apoyo más centralizado de ciertas áreas específicas de la ciencia. Como producto de esta nueva política se creó una División para las Ciencias Naturales, en la que se inició un programa de investigación hacia los "Procesos Vitales"; subsecuentemente este programa fué conocido como "Biología Molecular". La política que siguió la División de Ciencias Naturales fué la de "apoyar a la medicina científica, la reforma educacional, y la biología reduccionista"³. Uno de sus proyectos mejor definidos era, y es, la resolución exclusivamente médica de problemas de salud poblacionalmente importantes, evitando así el cuestionamiento y la gestión por parte de los sujetos de las condiciones sociales que posibilitan tales enfermedades.

Ahora bien, durante los años treinta la División de Ciencias Naturales donó un millón de dólares al año para la investigación. Los criterios de elección de proyectos que fueran a recibir este dinero se basaban en dos sistemas:

- El primero se extendía a partir de los donadores de la Fundación Rockefeller, vía los oficiales de la misma, hacia distinguidos científicos a quienes se les pedía consejo sobre investigación individual potencial.

- El segundo partía desde esos científicos hacia sus subordinados, colegas o

empleados cuyo trabajo podía ser apoyado: a) si llamaba la atención de los científicos y parecía interesante, y b) si estaba de acuerdo con los principios generales de la estrategia Rockefeller. Esta es la llamada "filosofía de hacer los picos altos más altos", que fué aplicada anteriormente en la educación médica.

Los logros de las donaciones mediante estos sistemas promovieron el desarrollo de sistemas de investigación más burocráticos, de mayor jerarquización y más centralizados, con la posibilidad de participación directa del conocimiento académico con fines privados⁴.

3.2 La guerra y las Enfermedades como propulsoras de la Biología Molecular.

Las dos guerras mundiales y la depresión económica que ocurrió entre ambas son suficientes para dividir el desenvolvimiento de la biología en varias etapas de su avance, como se hace con la física moderna.

Antes de la Primera Guerra Mundial la biología floreció con el despertar del expansionismo capitalista, y este fué el periodo de grandes triunfos contra el paludismo y la fiebre amarilla, y de una nueva agricultura y ganadería que comenzaron a producir grandes ganancias.

Durante la Primera Guerra Mundial la preocupación primordial de los biólogos fué la toma de medidas anti-epidémicas para mantener indefinidamente en el campo de batalla enormes ejércitos por primera vez en la historia. También por primera vez se utilizaron los gases venenosos, como un anticipo de la guerra químico biológica.

En los años comprendidos entre las dos guerras se presentó primero un auge relativo, luego la quiebra, y nuevamente un auge seguido de la gran depresión de la crisis de 1929; y, finalmente, el surgimiento del nazismo y el apremio de la guerra. Al principio el hambre, la degradación alimentaria y las enfermedades sirvieron de estímulo para que la investigación biológica se concentrara en el empleo de las primeras vitaminas descubiertas y de las hormonas relacionadas con ellas. Por consiguiente, los primeros años de este periodo se caracterizan por el nacimiento de la era de la bioquímica, importante antecedente de la biología molecular. La depre-

sión, con su cuadro de miseria vino a demostrar la inutilidad y la frustración de la biología (o de las soluciones meramente biológicas), dentro del sistema económico prevaleciente.

En los años cuarentas la propagación del nazismo hizo que los genetistas recordaran las implicaciones sociales que tenían sus trabajos, al observarse un resurgimiento irracional de las teorías eugenicistas y el racismo.

No fué sino hasta la Segunda Guerra Mundial cuando empezaron a entender plenamente las potencialidades prácticas de la biología. La necesidad de proteger a los combatientes de las enfermedades comunes del campo de batalla y la urgencia de reducir al mínimo las consecuencias de las heridas, dieron un gran impulso al progreso de las ciencias biológicas. El DDT, la penicilina y la paludrina son productos de la guerra. Además, el estudio de los venenos radioactivos y los experimentos y ensayos con armas bacteriológicas parecen haber inaugurado una nueva etapa de guerra biológica.

Más aún, la Segunda Guerra Mundial tuvo consecuencias científicas muy importantes en la biología, con influencia directa en el posterior desenvolvimiento de la biología molecular, debido a que introdujo nuevas técnicas físicas en la investigación, como los isótopos radioactivos (o "átomos marcados") y el microscopio electrónico⁵. La utilización de isótopos radioactivos permitió el estudio de las reacciones químicas en las rutas metabólicas, el 'surgimiento' de las diferentes biomoléculas a través de los compartimientos u organelos de la célula, así como la caracterización precisa de estas biomoléculas. A su vez, el microscopio electrónico permitió conocer detalladamente la anatomía de la célula (la llamada "ultraestructura celular") en la cual se desenvolvían los procesos moleculares, y en numerosas ocasiones estas observaciones morfológicas facilitaron la comprensión del funcionamiento o fisiología de tales estructuras. Ambos instrumentos -isótopos radioactivos y microscopio electrónico- son productos tecnológicos del conocimiento científico acumulado durante la investigación bélica.

Ahora bien, el surgimiento y desarrollo de la genética molecular especialmente

en los Estados Unidos, es el producto directo de una serie de decisiones tomadas por ese país después de la Segunda Guerra Mundial y a las cuales se vió necesariamente orillado por su propio desarrollo: tal política proporcionó inmensos fondos para la investigación biomédica. El objetivo central fué la derrota de enfermedades mortales como el cáncer y los padecimientos cardiacos, enfermedades típicas de un país industrializado⁶.

El caso del cáncer es particularmente ejemplar y necesario en el desarrollo de la biología molecular: se trata de una enfermedad que conlleva la alteración del equilibrio natural de los sujetos y que por la magnitud de su incidencia constituye a la vez un serio problema en los países altamente desarrollados. En Estados Unidos el cáncer es la segunda causa más importante de mortalidad entre los habitantes, después de las enfermedades cardiovasculares, y una de cada cuatro personas muere a causa de él⁷. Se han realizado, además numerosos estudios que ligan a los diferentes tipos de cáncer con ciertas zonas geográficas, y más específicamente con modos de vida y de alimentación; por ej. la incidencia de cáncer de pulmón en cada país es directamente proporcional al número de cigarrillos fumados por sus habitantes en los últimos veinte años^{8,9} y lo mismo sucede con los "cánceres laborables" inducidos por ciertos químicos industriales. La importancia de la dieta tampoco puede ser subestimada, y esto es particularmente ilustrativo en el caso del cáncer de intestino delgado: "Generalmente entre más rico es un país más alta es la incidencia (...) El agente que más probablemente es el causante es el alto nivel de consumo de carne en la dieta o alternativamente un bajo consumo de cereales"¹⁰. La modificación de los sistemas alimenticios en los países del tercer mundo, es decir, la sustitución de las dietas basadas en cereales y verduras por la supuestamente "saludable" dieta de los países industrializados (leche, carne y huevo), además de ser un importante factor para el desarrollo del mercado mundial y de la división internacional del trabajo¹¹, puede ser entonces directamente responsable de un aumento en la incidencia de este tipo de cáncer y otros en los países periféricos.

Destaquemos que, al hacer estudios epidemiológicos del cáncer en poblaciones

e incluso países enteros se ha demostrado que la "constitución genética probablemente no sea una variable importante" ni tampoco lo son los virus cancerígenos¹². Es el medio ambiente, los modos de vida y la dieta quienes con mayor seguridad disparan el mecanismo genético defectuoso; y todos estos factores están social-historicamente determinados.

El cáncer es además una enfermedad privilegiada para el estudio de las anomalías genéticas, y sus diversas etapas de desarrollo y características constituyen el "regocijo" de los biólogos moleculares, acostumbrados a estudiar la constitución de lo vivo, y especialmente del hombre, a partir de lo patológico y anormal. En el cáncer estos investigadores encuentran una "gama fascinante" de problemas a resolver, de condiciones patológicas extraordinariamente interesantes.

3.3 La Reducción de la Biología a Biología Molecular como Producto del Capitalismo.

En el presente apartado intentaremos realizar una aproximación más "sociológica" que en el cap. I a la historia "meramente científica" de la biología molecular. Si en el cap. I reunimos los datos empíricos obtenidos por la investigación y la experimentación biológicas, aquí trataremos de reseñar el curso, la naturaleza de esa investigación, las motivaciones culturales, sociales y aún psicológicas que llevaron a ciertos individuos -los científicos- a investigar una cierta zona de la naturaleza (Heidegger), así como a determinar la significación de sus experimentos y resultados.

No deja sin embargo de observarse que aún este apartado reviste una forma empírica de estudiar la historia (en este caso, de la biología del S.XX), y es que un cierto grado de análisis filosófico de la ciencia se reserva para las conclusiones de esta tesis.

A lo largo del siglo XIX se dieron las condiciones materiales y sociales en general para que la biología, ya como ciencia bien definida, se desarrollara impresionantemente y se dividiera en una serie de ramas especializadas. La forma, las funciones y las transformaciones de los seres vivos constituyeron la triple preocu-

pación de estos biólogos y sus investigaciones conformaron, en germen, lo que sería la biología moderna¹³. La historia natural descriptiva y la fisiología -mecanicista en gran parte- se transformaron en su patrón del siglo XX: la biología experimental y analíticamente rigurosa.

Esta transformación de la biología ocurrió, en gran parte, debido a la influencia de los adelantos de las ciencias físicas y químicas durante la última mitad del siglo XIX y la primera mitad de este siglo, como ingrediente esencial del proceso de industrialización.

Hasta finales del siglo pasado las únicas ramas de la biología que empleaban la metodología experimental eran la fisiología, la bacteriología y la bioquímica. Aún el estudio de la herencia a través de los cruces experimentales era más bien una actividad de los cradores prácticos, que una rigurosa ciencia experimental.

Los biólogos, concierne de la "acusación" de que su ciencia carecía de valor científico porque no podían demostrar empíricamente y con rigor sus conclusiones (es decir, cuantitativamente) y porque muchas de sus pruebas eran tenues e incompletas, acudieron continuamente a los físicos y a los químicos en busca de modelos experimentales en los cuales realizan sus investigaciones, sobre todo en la década de 1980 y en la de 1920¹⁴.

El darwinismo, después de su auge inicial, se encontraba en su peor crisis en los primeros años del siglo XX: la carencia de una teoría genética de la herencia y las mutaciones, de un estudio sistemático de la ecología de las poblaciones y la esporadicidad del registro fósil marcaron el terreno sobre el cual se apoyaron los detractores de la teoría de la evolución. Dadas estas condiciones (la búsqueda de métodos físicos y la vituperación del proceso evolutivo específicamente biológico), para 1940 se gestaba una nueva etapa en la investigación genética, cuando un nuevo grupo de científicos con una formación y una motivación diferentes a los de los genetistas clásicos comenzaron a interesarse por la naturaleza del gen. Muchos de estos pioneros tenían poco o ningún conocimiento en genética clásica, y menos aún sobre la biología general: su formación era netamente física y tenían un sólo

objetivo: conocer la base química de la información genética¹⁵.

Ahora bien, por su parte, los físicos fluyeron hacia la biología debido a una también peculiar situación en su campo de investigación: la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica desarrolladas a principios de siglo hacían creer a los físicos que ya "no había nada más que indagar" respecto de la materia inerte, por lo cual la vida se les ofrecía como un horizonte totalmente inexplorado, en el cual faltaba por explicar la inmensa mayoría de los procesos¹⁶. Además, la utilización catastrófica de la física -particularmente la atómica- durante la Segunda Guerra Mundial sumió en una grave depresión y culpabilidad a una gran cantidad de físicos que "confiaban en su ciencia".

Los biólogos habían estudiado hasta entonces la genética desde la perspectiva de la evolución de los seres vivos. Los físicos, por el contrario, tenían una visión reduccionista del problema: para ellos se trataba de problemas puramente moleculares de interacciones entre átomos que explicaran el mecanismo de la herencia. Trataron de violentar la especificidad de los biólogos al quererlo explicar como realidad física. Su enfoque era (y es) netamente reduccionista, por que a un cierto grado de organización de la materia se le intenta estudiar desde un grado inferior, menos completo, que se distingue con otras cualidades. Esta reducción de la biología por los físicos es consecuencia final de una reducción previa: la de querer entender a la biología desde la química -lo cual se intentaba ya en la bioquímica del siglo XIX-; solamente que la química y la biología eran menos divergentes de lo que lo son la física y la biología. Los antecedentes de esta nueva generación de físicos biólogos son varios:

En 1932 Niels Bohr formuló la idea de que algunos fenómenos biológicos no podían ser explicados totalmente en términos de conceptos físicos convencionales, así como su teoría cuántica del átomo no podía ser explicada a partir de la mecánica clásica¹⁷.

Esta idea fué llevada a la genética por uno de sus discípulos, Max Delbrück, en 1935, en un artículo titulado "Sobre la Naturaleza de la Mutaciones y la Estructura-

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

ra de los Genes". Posteriormente Delbrück fundó el llamado "grupo del fago", un importante grupo de investigación de genética molecular del cual se hablará después.

Las ideas de Delbrück lograron una amplia difusión después de la Segunda Guerra Mundial con la publicación en 1945 del libro "¿Qué es la vida?", escrito por el físico Erwin Schrödinger y que tuvo una gran influencia sobre los precursores de la biología molecular¹⁸. En su libro Schrödinger anunciaba la llegada de una nueva época en la investigación biológica a sus colegas físicos, cuyo conocimiento de la biología se limitaba generalmente a unos cuantos datos "curiosos" sobre la botánica y la zoología. Habiendose hecho la pregunta ¿qué es la vida? uno de los fundadores de la mecánica cuántica, el problema se impuso a los físicos como algo que merecía su esfuerzo¹⁹. Debido al malestar general de su profesión en la época de posguerra, los físicos dirigieron sus perspectivas hacia esta nueva frontera que de acuerdo con Schrödinger estaba ahora lista para algunos excitantes descubrimientos. La discusión de E. Schrödinger comienza con la siguiente afirmación:

"La evidente incapacidad de la física y la química actuales para dar cuenta (de los fenómenos espacio-temporales que tienen lugar dentro de un organismo vivo), no significa en absoluto que ello sea imposible para estas ciencias"²⁰.

Después afirmaba que a pesar de que los organismos eran inmensos comparados con los átomos, no había ninguna razón por la cual no obedecieran a leyes físicas exactas. Para Schrödinger el problema real que requería de una explicación era la herencia y la pregunta específica era: ¿Cómo es que los genes, que no son muy grandes comparados con los átomos, resisten las fluctuaciones tan grandes a las que están sujetos? Schrödinger postulaba que los genes eran capaces de preservar su estructura porque el cromosoma en el que se encontraban era un cristal aperiódico.

Sin embargo había muchas cosas por demostrar y la posición de Schrödinger era puramente especulativa.

Durante la primera mitad de este siglo, los investigadores que adoptaron esta nueva posición en la investigación bioquímica y genética se agruparon, como ya señalamos al inicio de este trabajo (cap. I), en tres escuelas, a las que ahora podemos

nombrar como:

a) Estructuralista: relacionadas con la dilucidación de la arquitectura de las moléculas biológicas, y cómo la forma y la estructura tridimensional de estas determina su función específica. Este grupo estuvo integrado principalmente por físicos: Sir Lawrence Bragg y su hijo, W.T. Atabury, John D. Bernal, J.C. Kendrew, Max Perutz, Francis Crick, Rosalynn Franklyn y Maurice Wilkins en Inglaterra, y Linus Pauling en Estados Unidos.

b) Inforacionalistas: está relacionada con la forma en que la información se transfiere de una generación de organismos a la otra, y en que esa información se traduce en moléculas biológicas únicas. A esta escuela pertenece el "grupo de fago" (iniciada por las ideas de Bohr estuvo también integrada por Max Delbrück, E. Schrödinger, Salvador Luria, Alfred Hershey, Martha Chase y John D. Watson, y convergían en Cold Spring Harbor, E.U.).

La diferencia entre estas dos escuelas es notoria y cabe destacarla: mientras la primera posee una perspectiva y una metodología netamente física, la segunda era mas bien genetista; mientras una se ocupaba de la estructura y a partir de aquí entender la función, la otra partía de la la comprensión de los procesos. Hay, además, una tercera escuela:

c) Bioquímica: relacionada con las moléculas biológicas interactúan en el organismo a nivel de metabolismo celular y en la herencia. Su enfoque parece estar comprendido entre el estructural y el informacional²¹.

Lo primero a resolver fué la naturaleza química del gen: su composición atómica, su "fórmula":

Como ya señalamos en 1944 Avery, McLeod y McCarty publican las conclusiones de su trabajo, en las que se atribuye por primera vez al DNA el papel de transmisor de la información genética. Sin embargo, a pesar de que su investigación constituía un acercamiento original y suficiente al problema, sus conclusiones no fueron aceptadas por la comunidad científica: desde el siglo XIX se creía en el mito de que las proteínas eran la "clave de la vida" debido a su complejidad y diversidad químicas,

y nadie podía creer que los "aburridos" ácidos nucleicos formados por repeticiones de nucleótidos, pudieran codificar la información genética de los organismos²².

Este es un claro ejemplo de cómo un paradigma de cientificidad dominante (Kuhn) impide la aceptación de nuevos datos experimentales, y se constituye en un obstáculo, en este caso, para la afirmación de que el DNA es el material genético de los seres vivos²³.

Los resultados del grupo de Avery fueron aceptados hasta 1952, cuando los comprobaron más rigurosamente utilizando nuevas técnicas como las de isótopos radioactivos. Dos miembros del "grupo del fago", Martha Chase y Alfred Hershey lo hicieron.

Mientras tanto, los estructuralistas avanzaban a la aplicación de sus técnicas de cristalografía de rayos X, preocupados -obviamente- por descifrar la estructura de las proteínas. Los Bragg (padre e hijo) habían inventado esta técnica en 1912: el principio del método es que un haz de rayos X paralelos que inciden sobre un arreglo cristalino de átomos, se difracta en un patrón que es característico del peso atómico y del arreglo espacial de estos átomos. Así, por medio de un cuidadoso examen del patrón de rayos X desviados por el cristal hacia una placa fotográfica, un cristalógrafo bien entrenado puede inferir el arreglo espacial de los átomos que produjeron ese patrón²⁴.

En los treinta el análisis con rayos X fué utilizado por W.T. Atsury y John D. Bernal -discípulos de Bragg- para determinar la configuración de cortas cadenas de aminoácidos (polipéptidos), pero el primer gran logro de la cristalografía lo obtuvo Linus Pauling hasta 1951 cuando descifró la llamada estructura secundaria de las proteínas, es decir, la conformación espacial del "esqueleto" de la cadena de aminoácidos, y descubrió que uno de los modos de arreglo espacial más comunes de estos consistía en una hélice (la alfa-hélice) que conservaba su estabilidad debido a los enlaces de hidrógeno (ya mencionados) que se formaban entre sus átomos²⁵.

No es sino hasta que se fusionan las escuelas funcionalistas y estructuralistas, que se dilucida la estructura del doble hélice del DNA, gracias a los trabajos de Watson, Crick, Franklyn y Wilkins. El trabajo de Linus Pauling constituía además

un importante antecedente, pues demostraba química y espacialmente que la estructura helicoidal de las moléculas orgánicas era posible²⁶.

El caso de la determinación de la estructura del DNA es interesante además por representar -como quizás ningún otro caso en la historia de la ciencia- la salvaje competencia que existe entre los científicos de una misma rama. Para 1952-53 era bastante claro que la dilucidación de la estructura del DNA constituía en realidad una carrera por el Premio Nobel, pues acababa de confirmarse que ésta -el DNA- era la molécula de la herencia. La historia del descubrimiento de esta estructura es la historia de una serie de grupos aislados²⁷ formando alianzas, espiando e incluso robando datos de los demás²⁸, sin ocurrir jamás un intercambio abierto y confiado de ideas. Una total incomunicación se convirtió en la principal característica de este descubrimiento, y ciertamente marcó desde su nacimiento a la biología molecular y a la ingeniería genética, que en la actualidad ven exacerbadas estas características por estar su investigación ligada a fuertes intereses económicos y políticos. Destaquemos, entonces, el papel que cumplen los Premios Nobel como acicate de la investigación científica. Los premios Nobel no se otorgan a los descubrimientos científicos en cuanto tales, sino al momento en que descubrimientos ya realizados con mucha anterioridad, vislumbran su potencial como ganancia para el capital, es decir, cuando este se lo apropia. No es casual que desde que se otorgó el primero de estos premios se modificó la cláusula de Alfred Nobel -su fundador- en la que estipulaba que estos debían otorgarse a los descubrimientos "efectuados el año precedente", añadiéndosele: "o cuya importancia haya sido reconocida recientemente"²⁹. El capital estimula de este modo a los científicos que, son gratificados al producir conocimientos que sirven para la valorización del valor³⁰.

Es curioso señalar que científicos-teóricos de la altura de Oparin- quien sentó las bases para la resolución del problema del origen de la vida- o de Lynn Margulis- quien apoya una teoría completamente revolucionaria de la evolución de los primeros organismos celulares- no hayan recibido un premio de este tipo jamás. Recordemos además que Albert Einstein recibió el Premio Nobel de Física en 1922 por su trabajo -

secundario en cierto modo sobre el efecto fotoeléctrico, en vez de recibirlo por su teoría de la relatividad, teoría revolucionaria del espacio-tiempo universal pero calificada de "judía" en esos años. Y es que los criterios reconocidos por la Fundación Nobel para otorgar los Premios son: el valor científico medido por sus aplicaciones y su contribución al "progreso social", el prestigio de los laureados y los criterios sociopolíticos y culturales.

El descubrimiento de la estructura del DNA, decíamos, marca el nacimiento de la biología molecular como tal. A partir de 1953 la investigación en este campo adquirió un ritmo acelerado, como un producto de las políticas sociales y financieras que la apoyaron desde 1945, como ya veíamos.

Todavía faltaban de comprender los procesos de replicación del DNA y de traducción de su información, es decir, el funcionamiento del código genético que se logró principalmente en los años sesentas. Y después vino la aplicación industrial, la tecnología que permitía poner en práctica masiva los conocimientos adquiridos, lo cual se hizo en la década de los setentas. Aquí sin embargo, enfatizábamos la importancia del período inicial de esta ciencia, tratando de indagar las fuerzas sociales que le dieron impulso.

Aunque esta nueva ciencia tiene sus raíces en Europa, el desarrollo de la biología molecular y de las técnicas de la ingeniería genética ocurrió en los Estados Unidos. La ingeniería genética es un producto norteamericano, y ahí se realiza la investigación científico-tecnológica de vanguardia, así como la apertura del primer mercado interesado en los productos de esta ciencia.

De lo dicho anteriormente podemos concluir que los factores científicos, económicos y sociales estuvieron estrechamente ligados con el origen e impulso de la biología molecular.

La búsqueda por los biólogos de principios físicos explicativos de la genética que aportaran una metodología experimental a sus trabajos, fué impulsada por las necesidades sociales y militares de los E.U. así como por los intereses privados de los primeros monopolios industriales.

CONCLUSIONES

Los numerosos hechos presentados a lo largo de los capítulos reflejan, por sí solos, una estrecha relación o utilización de la biología molecular y la ingeniería genética por el sistema productivo material existente. Sin embargo, tales hechos nos dicen poco acerca de las razones o causas de esta íntima relación y, por lo tanto, de los mecanismos por los que "casualmente" se coordinan o adecúan el quehacer científico "universal y libre" y las necesidades inmediatamente prácticas, económicas, de la producción.

Dicha cuestión puede ser abordada desde distintos niveles, como la relación teórica-práctica, ciencia-tecnología o ciencia-producción material, todos ellos niveles que ya en la Introducción postulábamos como unidad indisoluble, como momentos distinguibles pero inseparables del proceso general y básico de toda manifestación humana: el proceso de trabajo.

La historiografía de las ideas, conceptos y leyes naturales de la biología molecular a lo largo de este siglo (es decir, los "descubrimientos teóricos"), así como la enumeración de sus aplicaciones técnicas y productivas nos ha revelado tanto la retroalimentación constante de los momentos teórico y práctico, como -paradójicamente- su "simultaneidad". Sin embargo, a pesar de la estrechez de la relación y de lo "simultáneo" de sus procesos, no debemos caer en el error común de identificar ciencia y tecnología, por ejemplo.

La ciencia es substancia social, capacidad conciente, ideal, de relación con la naturaleza. La técnica, por otra parte, es manifestación material, objetivada, práctica, de dicha relación. Y es en esta diferencia que se juegan las posibilidades de comprensión histórica de la ingeniería genética. Veámos:

La ciencia -en este caso la biología molecular- avanza, primeramente, con el deseo o telos de descripción de las relaciones espontáneas del mundo natural, por ejemplo, con el deseo general de conocer cómo se transmiten los caracteres morfo-fisiológicos de una generación a otra, o con el deseo más específico de conocer

la estructura molecular del DNA. Este telos, a su vez, obedece a la necesidad humana básica de procurarse el conocimiento de los objetos o fuerzas naturales que permitan la supervivencia de la sociedad o el mejoramiento de sus condiciones generales de vida. Así pues, a este deseo o sentido humano de supervivencia, corresponde de un sinsentido natural que se le opone, en grados diversos, al hombre. En una primera etapa la ciencia avanza reproduciendo idealmente las relaciones de esa naturaleza exterior, y ello ocurre mediante la praxis perceptiva, conceptual, emotiva e imaginativa. Se trata, pues, de una reproducción, de una vuelta a producir ideal de esos lazos naturales ya existentes. Mientras que en una segunda etapa activa la ciencia produce, también idealmente, unos nuevos lazos o relaciones naturales, proyectando esta infinidad de posibles nuevas relaciones con el objeto de mejor apropiarse -en sentido amplio- de la naturaleza (es decir, "apropiarse" no de modo exclusivamente utilitario). Sin embargo, no se crea que este establecimiento ideal pasivo y activo de relaciones naturales que efectúa la ciencia es totalmente arbitrario y subjetivo por ideal, pues existe un objeto al que se describe, y lo específico de la ciencia, así como el éxito de sus posteriores manifestaciones materiales, dependerán de la eficacia con que se describen objetivamente, fielmente, esas relaciones naturales.

En efecto, la objetividad de la ciencia, de ese conjunto de ideas y relaciones conceptuales, sólo quedará demostrada al momento de su manifestación material. Por ello es que el experimento ocupa el lugar de honor dentro del "método científico", por ser anticipación adecuada al momento tecnológico. El sentido de la ciencia es la apropiación práctica de la naturaleza, y esto se expresa o toma forma material en la tecnología. En esta eficacia material, en esta aplicabilidad, radica la especificidad de la ciencia natural contemporánea¹, tan adecuada a la estructura del proceso de trabajo como mediación teleológica de sujeto y objeto. Ahora bien, si la objetividad de la ciencia depende de su eficacia material, ello no demuestra, por el contrario su verdad. La ciencia puede ser eficaz en la producción e inme-

diatamente utilizable como tecnología, sin que por ello sean necesariamente verdaderas sus propuestas acerca de la naturaleza. Durante muchos años, por ejemplo, la teoría del flogisto sirvió -tanto a la alquimia como a la química- para la comprensión y uso de la combustión; es decir, la idea de la combustión se adecuaba, al menos prácticamente, a ese objeto de estudio, a pesar de ser falsa en esencia por no revelar la relación natural real.

Por su parte, la tecnología es expresión objetiva (u objetivada) del trabajo previo realizado por la ciencia; es manifestación "tangible" de aquella "intangibilidad" de la ciencia. Es decir, que la ciencia en su sentido más amplio y humano -como deseo de aprehender la naturaleza- se vé objetivada en una cierta forma histórica que no tiene por qué ser, forzosamente, por ejemplo, la tecnología contemporánea. Sin embargo, y debido a la substancia social de la ciencia, su producto -la tecnología- y ella misma, se ven impregnados de esas relaciones sociales que forman parte de la conciencia de los individuos en un momento histórico dado; así pues, es falso hablar de una ciencia "pura" o "neutra", ya que si bien la esencia del conocimiento científico es -como decíamos- la aprehensión de la naturaleza para el bienestar humano, ella también adopta una determinada forma histórica, dependiente de las relaciones sociales de producción y, por lo tanto, y pese a su necesidad de objetividad, con un especial contenido político y cultural. Dicho contenido social de la ciencia contemporánea se expresa, muy especialmente, en la exacerbación de las determinaciones cuantitativas del objeto ("cuantitativismo") y en el incesante análisis del método ("analiticismo"), reflejo de la relación social mediada únicamente por el intercambio -cuantitativo- de equivalentes mercantiles entre los diferentes propietarios privados -"analizados" o atomizados- de la sociedad civil.

Ahora bien, la tecnología -ciencia objetivada- constituye al mismo tiempo la base sobre la cual se inicia de nuevo el ciclo de la producción científica, por ser precisamente lo objetivado y porque el conocimiento, el trabajo de la conciencia, precisamente es posible gracias a la existencia de condiciones materiales pre

vias, que incluyen tanto dispositivos y aparatos de medición, control, etc., hasta la formación de técnicos y científicos capacitados. La producción científica, por más que es un hecho conciente, ideal, depende de una realidad objetiva dada; y esta retroalimentación de la técnica a las ideas es lo que constituye el fundamento del desarrollo científico, así como de la estructura del proceso de trabajo, y no al contrario, como creía Descartes -filósofo racionalista clásico- para quien el desarrollo de las condiciones materiales humanas depende de la revolución del pensamiento y de la utilización de una "filosofía práctica"².

Así pues, el quehacer científico constituye una forma de trabajo ideal, socialmente determinado y que depende, además, de los logros prácticos o materiales alcanzados por la sociedad en su conjunto o, lo que es lo mismo, esa "sustancia social" ideal que es la ciencia se funda en el estado de desarrollo en que se encuentra, efectivamente, la relación de la sociedad con la naturaleza, o el grado de desarrollo del proceso de trabajo material. Es esencial, entonces, conocer la relación entre las condiciones sociales del proceso de trabajo y la ciencia, pues dicho nexo habrá de contestar otras preguntas más específicas respecto a la forma y contenido del conocimiento natural.

"El trabajo es, en primer lugar, un proceso entre el hombre y la naturaleza, un proceso en que el hombre media, regula y controla su metabolismo con la naturaleza (...) Al operar por medio de ese movimiento sobre la naturaleza exterior a él y transformarla, transforma a la vez su propia naturaleza.

Al consumarse el proceso de trabajo surge un resultado que antes del comienzo de aquél ya existía en la imaginación del obrero, o sea idealmente. El obrero no sólo efectúa un cambio de forma de lo natural; en lo natural, al mismo tiempo, efectiviza su propio objetivo, objetivo que él sabe que determina, como una ley, el modo y manera de su accionar y al que tiene que subordinar su voluntad"³. Lo anterior nos expone las determinaciones esenciales del proceso de trabajo, entendido como un proceso universal, común a los hombres de todas las etapas históricas. Es de importancia destacar:

a) que el trabajo media el intercambio material (energético) entre el hombre y la naturaleza, de manera análoga a los procesos del metabolismo que median la relación entre un organismo y el ambiente externo e interno; ello con el fin de preservar al hombre, pero,

b) en segundo lugar, el hombre no surge de este proceso sin modificación, pues al contacto con la naturaleza sus sentidos, emociones y conciencia se ven estimulados, y el resultado de su trabajo repercutirá objetivamente en él, y

c) la idea a priori que el hombre se forjó sobre el fin de ese trabajo, se objetiva, se vuelve tangible, por que el modo o método mediante el cual el hombre transforma la naturaleza está determinado materialmente por ese fin. Así pues, todo trabajo efectuado por el hombre supone experiencias previas respecto al comportamiento objetivo de la naturaleza; los hombres conocen la dureza o fragilidad de los materiales, sus reacciones, etc.⁴

Ahora bien, para que dicho proceso de trabajo ocurra se requiere, básicamente, un sujeto transformador, un objeto al que se transforma y unos medios de trabajo con los cuales obtendrá un producto de la naturaleza adecuado a las necesidades humanas mediante el cambio de forma. Muchas veces estos productos ingresan a un siguiente proceso de transformación, por lo que se convierten en condición de un próximo ciclo de trabajo.

Sin embargo, el proceso de trabajo presentado así, en sus elementos simples y generales, como "condición general del metabolismo entre el hombre y la naturaleza, eterna condición natural de la vida humana"⁵, no nos revela en qué condiciones sociales transcurre, y cuáles son las especificaciones que adquiere o que lo transforman radicalmente para adecuarse al modo de producción en el que se efectúa y materializa.

La primera determinación histórica del proceso de trabajo actual lo constituye el hecho de que, en el mercado, el capitalista pueda adquirir la fuerza de trabajo humana, constituyéndose ésta, por lo tanto, en una mercancía, cuyo uso -el trabajo mismo- consume los medios de producción del capitalista. En un principio el capi-

tal utiliza tanto la fuerza de trabajo como los medios y procedimientos de la producción preexistentes (subsunción formal del proceso de trabajo al capital). "La transformación del modo de producción mismo por medio de la subordinación del proceso de trabajo al capital) y ello ocurre porque en el proceso de producción de valores de uso general o básico a toda socialidad se vé subordinado a la producción de mercancías. Si en el trabajo capitalista se producen valores de uso es "únicamente porque son sustrato material, portadores del valor de cambio, (...). En primer lugar el capitalista quiere producir un valor de uso que tenga valor de cambio, un artículo destinado a la venta, una mercancía. Y en segundo lugar quiere producir una mercancía cuyo valor sea mayor que la suma de los valores de las mercancías requeridas para su producción (...). No sólo quiere producir un valor de uso, sino una mercancía; no sólo un valor de uso, sino un valor, y no sólo valor sino además plusvalor"⁷.

La mediación que se sitúa entre la constitución de los productos del trabajo como mercancías, y la obtención de plusvalor representa un complejo desarrollo tanto lógico, como histórico⁸, que no se refiere exclusivamente a categorías "económicas" (o economicistas), sino más bien a las determinaciones histórico-sociales más básicas y estructurales que permean la dinámica toda del quehacer material e intelectual de los hombres.

Como decíamos, la necesidad transhistórica del hombre de producir satisfactorios o valores de uso -de todo tipo- se vé oprimida por una necesidad histórica, la de producir valor y, más aún, plusvalor. La producción de plusvalor y la necesidad de producir cada vez una mayor cantidad de éste, impregna la estructura toda del trabajo: la dinámica del proceso como un todo, la forma y el contenido de los medios de trabajo, la organización y la praxis de los sujetos. Así, todo valor de uso que se produce es en vistas a la producción de plusvalor, y no del deseo básico de satisfacción humana. La producción de plusvalor se constituye como mecanismo automático de desarrollo del proceso de trabajo, principalmente como desarrollo de las fuerzas productivas técnicas que utiliza el hombre. Así pues, no sólo se trata aquí del uso negativo o positivo que se le dé al conocimiento científico-técnico (es decir, la

forma de éste), sino -y sobre todo- del contenido mismo de ese conocimiento, que queda impregnado de la esencial contradicción del modo de producción capitalista:

Más allá de la aparición del deseo de obtención de mayores ganancias utilizando una mejor tecnología, se sitúa la necesidad histórica y material de esta sociedad por desarrollar sus fuerzas productivas técnicas, esfuerzo que se ve premiado mediante la obtención, a nivel social, de un mayor plusvalor relativo, y de plusvalor extraordinario para los capitalistas de vanguardia. El plusvalor relativo se obtiene mediante el descenso general de los tiempos de trabajo socialmente necesarios para la producción de los medios de subsistencia del obrero, lo cual -a su vez- disminuye el valor de la fuerza de trabajo y ocurre sólo con el desarrollo de las fuerzas productivas técnicas en las ramas de la producción relacionadas con tales medios de subsistencia. Por su parte, el plusvalor extraordinario es obtenido por el capital de "vanguardia" en el desarrollo de nuevas tecnologías, como parte de la producción de la mercancía "desarrollo", necesaria a la sociedad⁹. Es necesario destacar que, si bien son los hombres los únicos productores de su realidad histórica y objetiva, en la configuración actual de la sociedad los mecanismos de la producción material y la finalidad de esta se han autonomizado de la voluntad humana de tal modo, que las "leyes" de la obtención de un mayor plusvalor transcurren sin hacerse conscientes, e independientemente de la voluntad individual. Es a esta sociedad a la que, por su modo de producción, corresponde un desarrollo ilimitado de las fuerzas productivas técnicas que conduce, cada vez con mayor celeridad, a la automatización del proceso de trabajo. Pero, simultáneamente, la más íntima y trascendente contradicción del modo de producción capitalista se establece entre este desarrollo positivo y liberador de las fuerzas productivas, y la tendencia de autoconservación de esta sociedad mediante la producción de escasez artificial que ocurre mediante la destrucción material (guerras, crisis ecológica, etc) y el desarrollo de fuerzas productivas destructivas. Es en esta gran contradicción histórica que se juega la comprensión de la contradictoriedad de la ciencia y la tecnología, como

fuerzas tanto liberadoras del género humano, como fuerzas destructivas de su entorno ecológico, de su diversidad genética, etc. El propio desarrollo contradictorio de la sociedad se manifiesta, con la mayor claridad, en el caso del quehacer científico-técnico, y ello no es casual pues en la actualidad es la fuerza productiva determinante y básica de la reproducción social.

La determinabilidad de la ciencia y la tecnología también puede reconocerse en otra perspectiva: en la importancia cada vez mayor que adquieren en la cultura, en la formación de la conciencia, es decir, en la producción misma de hombres y mujeres, de fuerzas productivas procreativas, que a pesar de encontrarse en segundo término con respecto a las fuerzas productivas técnicas en el presente, no pueden desparecer o ignorarse, y debieran recuperarse como un importante dique frente al desarrollo "destructor". Es en este contexto que adquiere mayor importancia tanto la politización con respecto a la ciencia y a la crisis ecológica, como el conocimiento profundo, objetivo, de la realidad presente.

Es el desarrollo de las fuerzas productivas objetivas y subjetivas, el quehacer humano global -y no la mera técnica o el mero pensamiento-, lo que determinará, en última instancia, el signo de las repercusiones de la ingeniería genética.

APENDICE"Quién es quién en la Ingeniería Genética"

Apenas en 1973 Charles Boyer, de la Universidad de Berkeley, y Stanley N. Cohen, de Stanford, descubrieron la técnica del empalme genético. Dos años después, en 1975, Boyer "encontró un capitalista dispuesto a fundar la nueva empresa Genentech para comercializar la incipiente tecnología"¹.

En sus inicios hace quince años sólo pocas y pequeñas industrias en los Estados Unidos se interesaron en las aplicaciones de la biología molecular. Sin embargo, esta situación cambió rápidamente: a principios de 1982 existían ya cerca de 200 compañías privadas dedicadas a la ingeniería genética en Estados Unidos y Europa Occidental. Por su parte, la biotecnología permaneció ignorada en Japón hasta 1980-82, cuando inició una acelerada carrera por disminuir la ventaja de cinco años que la separaba de los E.U.A. Hacia 1985 la distancia se había acortada a tan sólo 3 años, fecha en la cual Japón contaba, aproximadamente, con 150 empresas de ingeniería genética².

Las cuatro compañías más sobresalientes a nivel mundial son la Genentech (Stanford), la Cetus (Berkeley), la Biogen (Suiza) y la Genex. En 1982 la Genex Corp. identificó un mercado potencial de \$12,400 millones de dólares anuales para los productos químicos sintéticos, y en el campo de la agricultura genética se espera que este mercado potencial sea de \$100,000 millones de dólares para el año 2000³. Así, pues, la proliferación de empresas de biotecnología y de proyectos de este tipo en las grandes industrias ya establecidas tiene una razón de ser. De hecho, en las investigaciones más recientes de la ingeniería genética las grandes corporaciones transnacionales han empezado a jugar el papel más importante:

Prácticamente todas las transnacionales relacionadas con los energéticos, los alimentos y la farmacéutica cuentan con departamentos de investigación en ingeniería genética. Además, la competencia y la búsqueda por el acceso a la información ha producido una inmensa serie de asociaciones y compra de acciones, así que en la actualidad todas las pequeñas nuevas empresas de ingeniería genética cuentan entre sus

principales accionistas a las grandes corporaciones, deseosas de concentrar y acumular el mayor número posible de patentes biotecnológicas. Veámos el caso de la empresas que se localizan en Estados Unidos:

Cetus, de Berkeley, California, vendió el 75% de sus acciones a la Standard Oil de California, la Indiana Oil y la National Distillers and Chemical Corp.⁴ La Koppers Company, por otra parte, posee un 48% de la Genex, la Schering Plough Corp. cuenta con el 16% de la Biogen, y la Monsanto Co. ha invertido capital en la Genentech, la Genex y la Biogen⁵. El caso de la Genentech es ilustrativo: la "fiebre del gen" en Wall Street elevó el precio de sus acciones de U.S.\$35 a U.S.\$89 en su primer día de venta⁶.

Las grandes trasnacionales se asocian también con las nuevas empresas para financiar proyectos de investigación específicos y de gran interés comercial, así como para capacitar a sus propios científicos. En la industria farmacéutica Eli Lilly, Upjohn, Merck y Hoffman La Roche invierten en numerosos proyectos compartidos. En 1983 la Eli Lilly construyó una planta industrial con un costo de 40 millones de dólares en Gran Bretaña para la producción de insulina utilizando las bacterias "inventadas" por la Genentech, la cual le vendió a un alto precio el derecho exclusivo de su uso y comercialización. Es decir, en la ingeniería genética ya comienza a funcionar la dinámica de las patentes industriales, propios de la propiedad privada del conocimiento; la lucha de las trasnacionales en los parlamentos del primer mundo y en las organizaciones internacionales (como la FAO) para la obtención de un código internacional de rígidas patentes de seres vivos manipulados por la recombinación genética presenta un serio riesgo, tanto a nivel de la interrupción de la diversidad genética natural de la biósfera (lo cual interrumpiría los procesos naturales de evolución), como a nivel económico-político con el apuntalamiento de los monopolios de semillas y demás especies biológicas que serían proporcionadas al campesino y al granjero únicamente bajo las condiciones de venta de las trasnacionales. Esto último no sería más que la continuación perfeccionada de la política de la Revolución verde (ver tablas), que afectó principalmente al Tercer Mundo.

Las nuevas empresas de ingeniería genética, por lo tanto, han adecuado sus investigaciones hacia la producción de mercancías biológicas "estratégicas", de modo que independientemente o en sociedad con las transnacionales compartan los mercados más atractivos a nivel mundial (como sería el mercado de los agricultores); para ello se utilizan procedimientos de trabajo cada vez más eficientes. Algunos ejemplos de lo anterior son:

Biosearch, de California, fué la primera en utilizar computadoras VLSI para sintetizar hormonas, neurotransmisores y vacunas.

Plant Genetics Inc., de Davis, California, produjo en 1983 las primeras semillas de otras especies en las que se introducirán modificaciones genéticas mediante recombinación de DNA.

Calgene, también de California, produce genes que transfiere a células vegetales, aumentando su contenido proteínico y la resistencia a ciertas enfermedades.

Xoma Corp., de San Francisco, se concentra especialmente en los productos médicos. Su investigación con anticuerpos monoclonales y toxinas tiene como objetivo la curación del cáncer. En 1984 contaba ya con un capital de \$33 millones de dólares.

Liposome Co. Inc., de Princeton, fué fundada en 1981 por Edwin Whitehead -un nuevo y "emprendedor" millonario- para producir principalmente liposomas (vehículos macromoleculares) que transportan drogas a los sitios específicos del cuerpo del paciente.⁷

Por otra parte, es cada vez más común el patrocinio y fuerte apoyo económico que las grandes corporaciones dirigen hacia proyectos específicos y de investigación básica en las Universidades -especialmente las norteamericanas- con lo cual obtienen siempre los datos y resultados de la investigación de vanguardia y, muchas veces, el derecho a su explotación comercial:

Compañías como la General Electric Corp., la Exxon Research and Engineering Co., y la Du Pont Co., invierten frecuentemente en este tipo de convenios "académicos"⁸. En 1981 Du Pont donó \$6 millones de dólares a la Escuela de Medicina de Harvard para el estudio de la genética molecular; Mallinckrodt Inc. firmó un acuerdo de \$3.9

millones de dólares con la Universidad de Washington para investigación en anticuerpos, y el MIT (Massachusetts Institute of Technology) convenció al industrial Edwin Whitehead para establecer con \$127 millones de dólares el Instituto Whitehead para la Investigación Biomédica, en asociación con la misma Universidad⁹.

Debido a la enorme ventaja que la investigación en este campo lleva en los Estados Unidos, frente a Europa, cuando la Hoechst (la principal firma alemana de medicamentos y productos químicos) decidió intervenir en la ingeniería genética, realizó un convenio de \$50 millones de dólares con la Universidad de Harvard y el Hospital General de Massachusetts. A pesar de las protestas de los alemanes por la donación de esta suma a una universidad extranjera, el capital no tiene nacionalidad, y los directivos de la Hoechst argumentaron -con razón- que los Estados Unidos se encontraban a la vanguardia de esta nueva tecnología y que "esta era la dirección que ellos también deseaban seguir"¹⁰.

Como era de esperarse, el uso comercial potencial y actual de la investigación en ingeniería genética ha modificado la posición y perspectiva de los biólogos, y se han presentado numerosas asperezas entre los participantes, entre la investigación académica de las universidades y los intereses de las empresas, así como dentro de la propia comunidad científica, escindida por sus diversos intereses.

En los Estados Unidos se ha generado la desconfianza y el temor de los investigadores a divulgar sus resultados, ya que estos pueden ser utilizados rápidamente por las empresas privadas que patrocinan la institución en la que trabajan. Por ejemplo, en la Universidad de California en San Francisco un comité reportó que "en los seminarios la gente se resiste a preguntar y a dar sugerencias, ya que existe el sentimiento de que alguien puede tomar la idea y patentarla"; ello se debe a que muchos de los miembros del área de biología molecular en esa universidad son socios de Genentech.

Sin embargo, el temor de mayor importancia entre los "académicos" es que las ganancias, y no otro factor de mayor humanismo, guiarán el futuro de la biología. "La gente mejor preparada será dirigida hacia la investigación aplicada en la indus -

tría". Y, en realidad, esto es lo que ya ocurre. El caso más notable es el de Maxam Gilbert, biólogo molecular que obtuvo el premio Nobel en 1980, cuyo trabajo en la Universidad de Harvard esclareció la función de los ribosomas en la síntesis de las proteínas celulares y los procesos de regulación de la información genética entre otras investigaciones, así como el desarrollo de una sencilla técnica para la lectura de la secuencia de bases de cualquier molécula de DNA, indispensable para el futuro desarrollo de la ingeniería genética; en la actualidad Gilbert es miembro del Consejo de Directores y Supervisores de la compañía suiza Biogen, que él ayudó a fundar en 1978 con la ayuda de INCO Ltd., una firma de "capital aventurero". Biogen, cuyas oficinas principales se localizan en Cambridge, Massachusetts y en Ginebra, Suiza, cuenta aproximadamente con 400 empleados, incluidos algunos de los mejores biólogos moleculares del mundo. El consejo de científicos de Biogen tiene la facultad de aprobar el desarrollo de los proyectos de investigación; asimismo, impusieron restricciones en la venta de acciones, de tal modo que ninguno de ellos "pudiera abusar de la confianza de los demás". Sin embargo estas restricciones se aplican sólo hasta que existiera una oferta pública de \$5 millones de dólares por la empresa, pero en la actualidad Biogen ya posee un capital de \$125 millones de dólares. El sueldo anual de Gilbert es de \$285 mil dólares, y posee 580,000 acciones de Biogen. Así que de 1978 a 1982 Gilbert dividió su tiempo de trabajo entre el laboratorio de Harvard y las oficinas de Biogen hasta que, como ejecutivo en jefe, se decidió por los negocios.

Sin embargo, no todos los biólogos se han decidido por los negocios y esto -como decíamos- ha puesto numerosos intereses en conflicto. Es común que investigadores universitarios trabajen al mismo tiempo para una compañía privada o que, como en el caso de David Baltimore (ganador del premio Nobel por su descubrimiento de la reverso transcriptasa) pertenece al comité evaluador de las medidas de seguridad de las técnicas de DNA recombinante en las empresas bajo el auspicio del gobierno de los Estados Unidos, y por otro lado, posee \$2.5 millones de dólares en acciones de la compañía Collaborative Research, Inc.

También ha ocurrido que los trabajos de postgrado realizados por estudiantes sean utilizados (o "robados") por sus profesores, quienes dividen su tiempo de trabajo entre la academia y la industria privada. Por ejemplo, Reynold Valentine, maestro de la Universidad de California de Davis y vicepresidente de Calgene, con frecuencia modifica inesperadamente los proyectos de tesis de sus estudiantes para adecuarlos a intereses comerciales de la empresa en que trabaja¹¹.

Es un esfuerzo por "mejorar las relaciones" los presidentes y científicos de cinco universidades norteamericanas prestigiadas en este campo (Caltech, Harvard, MIT, Stanford y la Universidad de California), se reunieron en Pajaro Dunes para discutir estos asuntos con los representantes de la industria. Sin embargo, la actitud tomada por los representantes de las universidades no fué, en modo alguno, radical: se conformaron con destacar que "no deseaban imponer lineamientos que encadenaran a nadie" y con señalar su deseo de "iniciar un diálogo que eventualmente conduzca a un código de comportamiento", en palabras de Jarus Manning, jefe del Depto. de Microbiología de la Universidad de California en Davis¹².

En realidad las universidades norteamericanas han dependido, tanto en el pasado como en la actualidad, de los grandes fondos monetarios proporcionados por la industria privada, y sería ingenuo -por decir lo menos- el creer que pueden prescindir de ellos o que puedan desarrollar y utilizar la nueva tecnología de modo más conveniente a los intereses de la sociedad en general. Sin embargo, en la negociación por los derechos y registros de las investigaciones algunas instituciones, como la Universidad de Washington, han firmado acuerdos que les permiten retener las patentes de los descubrimientos "benéficos" o de interés social. Pero hasta el momento ninguna tendencia o grupo universitario ha deseado romper la relación con las empresas privadas, y ello se debe a la estrecha relación -tan vieja como eficiente- entre las universidades y el aparato productivo del país.

El sentimiento generalizado de los científicos respecto a que hay que "aprovechar" al benefactor que está dispuesto a financiar cualquier investigación, ha producido en numerosas ocasiones el "desengaño" de que los resultados sean utilizados

en la producción de objetos comerciales y bélicos¹³. Existen, por otra parte, todos los casos en que la cooperación científica con la industria y el ejército es abierta y "voluntaria", lo que en el caso de la biología molecular ha dado lugar -como hemos señalado- a una generación de biólogos millonarios, especialmente en los Estados Unidos.

No sólo las empresas privadas, sino el Estado -obviamente- financia constantemente las investigaciones. Oficialmente en los Estados Unidos los Institutos Nacionales de Salud (NIH), la Fundación Nacional de la Ciencia y el Departamento de Agricultura tienen programas de apoyo y fomento de la biología molecular.

Por otra parte, la nueva tecnología es también una de las grandes prioridades del gobierno del Japón para la década de los noventa. Dentro de los principales proyectos tecnológicos impulsados por el gobierno japonés con la participación de la industria privada están:

a) El proyecto dirigido por la A.I.S.T. (Agencia de Ciencia Industrial y Tecnología, por sus siglas en inglés), una división de famosos M.I.T.I. (Ministerio de Comercio Internacional e Industria), y que lleva el nombre de "Tecnología Industrial Básica para la Siguiete Generación", el cual se desarrollará entre 1981 y 1990. Este proyecto incluye, dentro de su presupuesto de \$416 millones de dólares la investigación y el desarrollo de biorreactores, el cultivo masivo de células y el desarrollo de las técnicas de DNA recombinante.

b) Los tres incluidos en la E.R.A.T.O. (Investigación Exploratorio para Tecnología Avanzada), que suman \$21.6 millones de dólares como presupuesto para la investigación biholónica (es decir, el estudio de cómo interaccionan a todos los niveles de organización todos los componentes celulares) y para el diseño de microorganismos que crezcan en condiciones altamente desfavorables a fin de conocer los límites de tolerancia del metabolismo para desarrollar la biotecnología en condiciones extremas. Esto último guarda estrecha relación con la investigación marina y espacial¹⁴.

La biotecnología es perseguida tenazmente también por las principales corporaciones japonesas. En la actualidad existen unas 150 empresas dedicadas a la investigación y comercialización de la ingeniería genética.

El desarrollo de la biotecnología es especialmente importante para el Japón, ya que debido a sus escasos recursos naturales podrá esperar un alto beneficio de los nuevos productos de la agricultura y la industria química. Las nuevas variedades vegetales de mayor productividad y los combustibles y materias primas de más bajo costo tienen pleno sentido para este pequeño país estructurado para consumir las materias primas del extranjero en la manufactura de productos altamente tecnologizados y especializados. Para ello el Japón cuenta, sobre todo, con una amplia tradición en el conocimiento y utilización de los procesos de fermentación, profundamente enraizados en su tipo de alimentación. Sin embargo, los japoneses no se conforman con el mercado interno, por lo que dedican numerosos esfuerzos por desarrollar productos para el mercado mundial, entre los que destacan los nuevos medicamentos biotecnológicos:

La inmunología, por ejemplo, es el interés principal de empresas como la Hayashibara de Okayama, una compañía que desde hace 100 años se dedica a los procesos de fermentación. Recientemente inauguró su Instituto Fujisaki para la obtención de interferón y otros productos para la curación del cáncer, con un costo aproximado de 12 millones de dólares. La compañía Asahi, de Tokio, también produce proteínas relacionadas con la curación del cáncer.

Por otra parte, la compañía Suntory de Tokio, una de las más grandes y conocidas productoras de alimentos y bebidas alcohólicas, se dedica también a la inmunología desde 1979. Para 1988 sus investigadores habrán terminado el desarrollo de su Sistema Suntory de Diseño de Drogas por Computadora (SCADDS). Sus proyectos de Ingeniería Genética se desarrollan en cooperación con Schering-Plough, de Estados Unidos, y con Biogen (Suiza-E.U.A.). Próximamente lanzarán al mercado una droga para afecciones cardíacas llamada SUN 1165, desarrollada biotecnológicamente. Aunque las nuevas empresas biotecnológicas más grandes son la Mitsubishi Kasei y la Wakanuga Seiwaku, la Suntory es una de las más competitivas.

La compañía Fujisawa Pharmaceuticals, de Osaka, obtuvo la mayor parte de sus ganancias de 1984 (798 millones de dólares) con productos que no tienen más de siete años en el mercado. Ciertamente no se trata de productos originales o innovadores -antibióticos, drogas-, pero sí son productos cuya producción se ha visto mejorada e incrementada con las nuevas técnicas, obtenidas de Biogen y Genentech mediante diversos convenios de patentes.

La estrecha relación de la industria y el gobierno en Japón le proporciona al sistema productivo de este país una serie de importantes ventajas con respecto a los sistemas de Estados Unidos y otros países. Al colocar a la biotecnología como prioridad, el Estado japonés señala una clara dirección a la industria y a las universidades, y genera políticas económicas y culturales que apoyan dicha dirección. La situación más problemática para el Japón es su escasez de recursos humanos dedicados a la ciencia y la investigación básica, por lo que muy pocos proyectos de ingeniería genética nacen y se desarrollan en el país. Así que una de las prioridades de las empresas japonesas en cooperación con el gobierno es la de reclutar estudiantes universitarios prometedores y capacitarlos en universidades del extranjero, principalmente en Estados Unidos. Varias compañías japonesas, admitiendo la importancia de la investigación básica para la comercialización futura de la ingeniería genética, han establecido o ampliado sus instalaciones de investigación; y el éxito del Japón en el mercado mundial de la biotecnología parece depender en gran parte del hecho de que esta capacitación de científicos se lleve a cabo rápida y eficazmente¹⁵.

La situación de Europa con respecto a la ingeniería genética no es tan optimista como la de Estados Unidos o Japón. Si bien la biología molecular se originó entre los años treinta y cincuenta en los países de Europa occidental, en la actualidad y desde hace dos o tres décadas la investigación se concentra en Estados Unidos, y hasta las compañías farmacéuticas europeas invierten en las instituciones y empresas norteamericanas (como ya señalamos en el caso de la Hoechst). Existen pocas empresas de ingeniería genética en Europa, y las principales se localizan en

Suiza, Francia y Gran Bretaña, mientras que Alemania se encuentra en franca desventaja e, incluso, parece ignorar la importancia de esta nueva tecnología.

El gobierno francés y las compañías privadas de este país se apresuran, eficientemente, a ganar el terreno perdido: tan sólo en 1982 Francia invirtió 160 millones de dólares en biotecnología, cantidad que se cuadruplicó en 1985. "París apunta hacia el 10% del mercado mundial al finalizar la década"¹⁶; y se ha creado una empresa de servicios en biotecnología llamada Biofutur, que proporciona información a los investigadores e industriales del país sobre las aplicaciones actuales y futuras, los riesgos industriales y financieros, la estructura de los procesos de trabajo biotecnológicos y los aspectos económicos de la biotecnología en Francia¹⁷.

Entre las empresas francesas dedicadas a la ingeniería genética se cuentan: la Rhone Poulenc, una de las mayores empresas de productos químicos del mundo, que ahora se dedica también a la obtención de cereales híbridos que se fertilicen así mismos. La Lafarge-Coppée una de las productoras mundiales de cemento más grandes, que se ha diversificado hacia la ingeniería genética al adquirir el control económico de la Compagnie Coppée de Développement, de Bélgica, dedicada a los aminoácidos y a la aplicación de algunas de las más recientes "creaciones" norteamericanas mediante la obtención de sus patentes o derechos.

La situación de Gran Bretaña no es tan halagadora, si bien realiza investigación muy avanzada en ramas de la bioingeniería, para lo cual se creó la empresa llamada Celltech, que no ha conseguido a la fecha éxitos comerciales importantes. La empresa Biotechnology Investments, fundada por N.M. Rotschild, y que cuenta con \$50 millones de dólares invertidos únicamente en empresas norteamericanas, sin haber destinado nada a las empresas británicas.

Suiza, país tradicionalmente dedicado a la farmacéutica, cuenta con una de las empresas más importantes del mundo, la Biogen, si bien vemos que gran parte de su capital, sus científicos e instalaciones se encuentran en los Estados Unidos. Por otra parte, la Hoffmann-La Roche (la empresa que desarrolló el Valium) trabaja en en el empalme de genes y ha cedido licencias de esta especialidad a los japoneses.

La Novo, empresa danesa que actualmente vende el 60% de la insulina europea, se especializa ahora en la producción de enzimas, debido a su importancia para la fermentación y desarrollo de las bacterias a nivel comercial.

Por su parte, la empresa sueca Fortia vende productos que los bioingenieros requieren para su trabajo (instrumentos, substancias). Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos Europa lleva un serio retraso con respecto a los Estados Unidos; esto es especialmente notorio en el caso de Alemania, que paradójicamente es, el "país" de la tecnología". La base tecnológica del "milagro económico" alemán se basa en la producción de maquinaria pesada -turbinas, motores...-, acero y productos químicos. La crisis y el desempleo alemán se deben en gran parte al aumento de los precios del petróleo y materias primas de los años setentas¹⁸, y Alemania es lenta en la creación de nuevas industrias. Ya veíamos como la Hoechst, la primera firma alemana de medicamentos, hizo un convenio de ingeniería genética con la Universidad de Harvard y el Hospital General de Massachusetts, originando un escándalo entre sus compatriotas.

A continuación presento algunas tablas que ilustran más específicamente algunos efectos de la privatización de los productos de la ingeniería genética¹⁹.

NOTAS Y BIBLIOGRAFIA A LA INTRODUCCION

(1) "...la revolución industrial que va a transformar a Inglaterra y luego al mundo entero, no es, en ningún momento de su trayectoria, un tema bien delimitado, un haz de problemas dados, en un espacio y en un tiempo dado.

En el conjunto de la Revolución disciernen una serie de 'revoluciones' particulares, de la agricultura, de la demografía, de los transportes interiores, de la técnica, del comercio, de la industria, etc." (Braudel, F. Civilización Material, Economía y Capitalismo. Alianza Editorial, S.A. Madrid, 1984. Tomo III, cap. 6).

(2) La necesidad de explicar estructuralmente el desarrollo de la ciencia y la tecnología sobre la base de la plusvalía relativa y extraordinaria no será cubierta por este trabajo. Sin embargo, la indicación de su esencialidad para la comprensión del tema se hará patente en numerosas ocasiones. La presente Introducción busca -como le corresponde- tan solo explicitar brevemente los supuestos sobre los que se asientan las afirmaciones contenidas en esta Tesis de Licenciatura y no -ni mucho menos- agotar el tema o los supuestos teóricos.

(3) Como lo creen los antropólogos y economistas burgueses, como Alvin Toffler.

(4) T.W. Atsbury fué aparentemente, el primer "físico-biólogo" que utilizó el término "biología molecular" (Stent, G. S. y R. Calendar: Molecular Genetics. W.H. Freeman and Company. San Francisco, 1978. p. 202).

(5) "Que Descartes, al igual que Bacon, veía en la configuración modificada de la producción, así como en el dominio práctico de la naturaleza del hombre, un resultado de las modificaciones operadas en el método de pensar, lo muestra su Discours de la Methode, donde se dice entre otras cosas: 'Es posible' (gracias al método introducido por él en la filosofía) 'adquirir conocimientos muy útiles para la vida, y que en lugar de esa filosofía especulativa que se enseña en las escuelas, se pueda hallar una filosofía práctica...! "Tal, la teoría burguesa clásica del desarrollo de las fuerzas productivas. (Marx, K. El Capital. Crítica de la Economía Política. Siglo Veintiuno Editores. México, 1984. Libro primero. Capítulo XIII p. 475).

(6) "Una historia crítica de la tecnología demostraría en qué escasa medida cualquier invento del siglo XVIII se debe a un solo individuo. Hasta el presente no existe esa obra. Darwin ha despertado el interés por la historia de la tecnología natural, esto es, por la formación de los órganos vegetales y animales como instrumentos de producción para la vida de plantas y animales. ¿No merece la misma atención la historia concerniente a la formación de los órganos productivos del

hombre en la sociedad, a la base material de toda organización particular de la sociedad? ¿Y esa historia no sería mucho más fácil de exponer, ya que, como dice Vico, la historia de la humanidad se diferencia de la historia natural en que la primera la hemos hecho nosotros y la otra no? La tecnología pone al descubierto el comportamiento activo del hombre con respecto a la naturaleza, el proceso de producción inmediato de su existencia, y con esto, asimismo, sus relaciones sociales de vida y las representaciones intelectuales que surgen de ellas. Y hasta toda historia de las religiones que se abstraiga de esa base material será acrítica" (Marx, K. *ibid.* p. 453).

(7) "Ya el trabajo más primitivo, ya la selección de guijarros por el hombre pre histórico, presupone un reflejo adecuado de la realidad inmediata aquí considerada. Pues no es posible que se realice con éxito ninguna posición de fines sin una refiguración, por primitiva e inmediata que sea, de la realidad por ella mentada. La práctica no puede ser consumación y criterio de la teoría sino porque le subyace ontológicamente, como presupuesto real de toda real posición teleológica, una refiguración de la realidad tomada por verdadera". (Lótkacs, G. Historia y Conciencia de Clase. Editorial Grijalvo. México, 1983. p. xxvii).

(8) "Concebimos el trabajo bajo una forma en la cual pertenece exclusivamente al hombre. Una araña ejecuta operaciones que recuerdan las del tejedor, y una abeja avergonzaría, por la construcción de las celdillas de su panal, a más de un maestro albañil. Pero lo que distingue ventajosamente al peor maestro albañil de la mejor abeja es que el primero ha modelado la celdilla en su cabeza antes de construirla en la cera. Al consumarse el proceso de trabajo surge un resultado que antes del comienzo de aquél ya existía en la imaginación del obrero, o sea, idealmente". (Marx, K. *op. cit.* p. 216).

NOTAS Y BIBLIOGRAFIA AL CAPITULO I

(1) Lehninger, A.L. 1979. Biochemistry. Worth Publisher Inc. New York. p. 8.

(2) Existe una importante discusión científica acerca de la específica termodinámica de los seres vivos. El autor clásico que se refiere al tema es el premio Nobel soviético Ilya Prigogine. La dificultad surge en la consideración de la Segunda Ley de la Termodinámica, que afirma que todo sistema cerrado tiende a una mayor entropía o desorden. La cuestión es ¿existen los sistemas cerrados? Y, en última instancia, ¿es el universo un sistema cerrado? En los seres vivos la cuestión se resuelve al reconocer los sistemas abiertos, sin embargo la discusión trasciende por otro lado a la física y alcanza a otras ramas del conocimiento como la economía y la filosofía (cfr. la obra de G. Bataille). No es este un lugar adecuado para adentrarnos en ella.

(3) Avery, O.T., C.M. MacLeod, and M. McCarty. Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. Induction of transformation by a desoxyribonucleic acid fraction isolated from pneumococcus type III. J. Exp. Med. 79 (137). 1944.

(4) Hotchkiss, R.D. Cyclical behavior in pneumococcal growth and transformability occasioned by environmental changes. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 40(49). 1949.

(5) Hotchkiss, R.D. and J. Marmur. Double marker transformations as evidence of linked factor in desoxyribonucleate transforming agents. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 40(55). 1954.

(6) Hotchkiss, R.D. Criteria for quantitative genetic transformation of bacteria. In: W.D. McElroy and B. Glass (eds), The Chemical Basis of Heredity. The John Hopkins Press, Baltimore, 1957.

(7) Stent, G.S. and R. Calendar. Molecular Genetics. 1978. W.H. Freeman and Co. p. 190.

(8) Chargaff, E. Chemical specificity of the nucleic acids and mechanism of their enzymatic degradation. Experientia. 6(201). 1950.

(9) Le Gros Clark, W.E. and P.B. Medawar (eds). Essays in Growth and Form. Oxford University Press, Oxford, 1945.

(10) Watson, J.D. and F.H.C. Crick. Molecular Structure of Nucleic Acids. A structure for Deoxyribose Nucleic Acid. Nature. April, 25. 1953. p. 737.

(11) A pesar de que para los objetivos del presente trabajo es suficiente la descripción de la estructura standard del DNA propuesta por Watson y Crick, no está de más indicar que para esta molécula existen otras configuraciones posibles: el DNA de tipo A, que es la estructura adoptada por la molécula en condiciones de baja humedad (aproximadamente el 75%) y que consiste en una doble hélice más "apretada" que la estructura standard (10.9 p.b. por vuelta); el DNA de tipo B, que es la conformación estudiada por Watson y Crick, y que se presenta al existir una humedad relativa de 92% y, por último, el DNA de tipo Z que se presenta para ciertas secuencias de nucleótidos y en ciertas condiciones, y cuya peculiaridad más importante es que la doble hélice gira hacia la izquierda, contrariamente al giro de los DNA A y B. (Rich, A., G. J. Quigley and A.H.J. Wang. DNA: Righthanded and left-handed helical conformation. In: Biomolecular Stereodynamics. Vol. I. Ed. by R.H. Sarma. Adenine Press. 1981.

Dickerson, R.E., H.R. Drew, B.N. Conner, et al. The anatomy of A-, B-, and Z-DNA. Science. 216 (4545): 475-485. 1982.

(12) Watson, J.D. 1981. La Doble Hélice. Conacyt. México. p. 126.

(13) Watson, J.D. and F.H.C. Crick. Genetical implications of the structure of deoxyribonucleic acid. Nature. 171 (1954). 1953.

(14) Watson, J.D. 1981. op. cit.

(15) Stent, G.S. op. cit. p. 226.

(16) Meselson, M., and F.W. Stahl. The replication of DNA in E. coli. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 44 (1957). 1958. (No está por demás destacar la originalidad y belleza de los experimentos de Meselson y Stahl, quienes demostraron que durante la replicación del DNA las dos moléculas que se forman están constituidas por una cadena "nueva" y otra "vieja" o perteneciente al DNA parental y que sirvió como templado para la formación de la cadena "nueva".

(17) Banhoeffer, F., and A. Gierer. On the growth mechanism of the bacterial chromosome. J. Mol. Biol. 7. 534-540. 1963.

(18) Cairns, J. The chromosome of Escherichia coli. Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol. 28, 43-45. 1963.

(19) Lehninger, A.L. 1979. op. cit. p. 859.

(20)

(21) Kornberg, A. Biological Synthesis of deoxyribonucleic acid. Science. 131: (1503). 1960.

Kornberg, A. DNA Synthesis. W.H. Freeman and Co. San Francisco, 1974.

(22) Prescott, D.M. , and P.L. Kuempel. Bidirectional replication of the chromosome in E. coli. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 69 (2842). 1972.

(23) De Lucia, P. and J. Cairns. Isolation of an E. coli strain with a mutation affecting DNA polymerase. Nature. 224 (1164). 1969.

(24) Stent op. cit.

(25) Gefter, M., Y. Hirota, T. Kornberg, J. Wechster, and C. Barnoux. Analysis of DNA polymerases II and III in mutants of E. coli thermosensitive for DNA synthesis. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 68: (3150). 1971.

(26) Bouche, J.P., K. Zechel and A. Kornberg. dna gene product, a rifampicin-resistant RNA polymerase, initiates the conversion of a single-stranded coliphage DNA to its duplex replicative form. J. Biol. Chem. 250. (5995)- 1975.

(27) Brutlag, D., R. Schekman, and A. Kornberg. A possible role for RNA polymerase in the initiation of M13 DNA synthesis. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 68(2826). 1971.

(28) Stent, G.S. op. cit. p. 470.

(29) Benzer, S. Fine structure of a Genetic region in bacteriophage. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 41 (344). 1955.

(30) Caspersen, T. Studien uber den Eiweibumsatz der zelle. Maturwissenschaften. 28(33). 1941. Citado por Stent, G.S. op. cit.

(31) Borsook, H., C.L. Deasy, et al. Metabolism of 14-C-labeled glycine, L-histidine, L-leucine and L-lysine. J. Biol. Chem. 187. (839). 1950.

(32) Schachman, H.K., A.B. Pardee, and R.Y. Stanier. Investigations on the macromolecular organization of microbial cell. Arch. Biochem. Biophys. 38(245). 1952.

(33) Cohen, S.S. The synthesis of nucleic acid and protein in E. coli B infected with T2 bacteriophage. J. Biol. Chem. 174(281). 1948.

(34) En relación con lo anterior es conveniente hacer las siguientes indicaciones:

Primero, destacar la importancia insustituible del pensamiento teórico para el desarrollo de cualquier tipo de conocimiento, incluso -como aquí se vé- en el caso del conocimiento más analítico y experimental. Ciertamente que "teoría" y "práctica" no pueden escindirse con facilidad, pero en el ejemplo de Jacob y Monod al que nos referimos su propuesta teórica marcó el sentido de la investigación experimental subsiguiente de forma muy clara, evidenciando el carácter primario del telos ante cual -

quier actividad humana. La biología molecular, como cualquier otra rama de la ciencia, está repleta de este tipo de ejemplos, que no son más que la expresión de la estructura del proceso cognoscitivo, tal y como ya lo hemos presentado (relación teleológica/práctica del hombre con la naturaleza). Bástenos recordar que la propia biología molecular surgió fundamentalmente de la necesidad conciente y práctica de dotar de contenido material al concepto (teórico) clásico o mendeliano de gen o factor hereditario.

En segundo lugar, señalar cómo es que el modo o forma en la que el hombre conoce a la naturaleza se encuentra determinado históricamente; y que la determinación histórica esencial o fundante es la del modo de producción social-material prevalente en un lugar y momento dado. Es la sociedad capitalista la que piensa o conoce a la célula -y lo manifiesta en su lenguaje, esquemas, etc.- precisamente como si esta fuera una fábrica o una línea de montaje. La producción de bienes materiales sugiere al investigador el "plan" o el "esquema" de la naturaleza, así que tanto los proyectos de investigación como los conceptos científicos tienen un origen objetivo-ideal (es decir, una imagen de la objetividad en la conciencia). Ahora bien, el afirmar que el modo de producción material influye el quehacer científico no implica, necesariamente, que este pierda objetividad pues ya de antemano los procesos de trabajo más simples y necesarios de la sociedad debieron tener un conocimiento empírico adecuado acerca de la naturaleza, de sus propiedades y de cómo manipularla; de lo contrario, no habría sido posible la obtención de bienes. Asimismo el que es imagen (Heidegger) que nos formamos de la naturaleza sea funcional a la investigación y a la producción misma, no implica que dicha imagen sea la naturaleza misma. La ciencia contemporánea físico-matemática es sólo una de las formas posibles de conocimiento de la naturaleza, ciertamente funcional al productivismo capitalista de cosas y de ideas. La idea contemporánea de que nuestra particular imagen de la naturaleza es la naturaleza misma es, por ello, también adecuada a las técnicas publicitarias y mercantiles modernas. (Cfr. Heidegger, M. La Epoca de la Imagen del Mundo).

(35) Brenner, S., F. Jacob, and M. Meselson. An unstable intermediate carrying information from genes to ribosomes for protein synthesis. Nature. 190(576). 1961.

(36) Weiss, S.B. Enzymatic incorporation of ribonucleoside triphosphates into the interpolynucleotide linkages of ribonucleic acid. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 46(1020). 1960.

(37) Hurwitz, J., J.J. Forth, M. Anders et al. The enzymatic incorporation of ribonucleotides into RNA and the role of DNA. Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol. 26(91). 1961.

- (38) Stevens, A. New small peptides associated with DNA-dependant RNA polymerase of E. coli after infection with bacteriophage T4. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 57 (1618). 1967.
- (39) Stent, D.S. op. cit. p. 489.
- (40) Hinkle, D., and M.J. Chamberlain. Studies of the binding of E. coli RNA polymerase to DNA. II Kinetics of the binding reaction. J. Mol. Biol. 70 (187). 1972.
- (41) Stalka, A., B. Butter and H. Echols. Genetic control of transcription during development of phage. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 58 (576). 1967.
- (42) Robert, J. Termination factor for RNA polymerase. Nature. 224 (1168). 1969.
- (43) Dickerson, E.R. The DNA helix and how it is read. Sci. Am. 249(6). p. 86. Dic. 1983.
- Dickerson, E.R. Base sequence and helix structure variation in B and A DNA. J. Mol. Biol. 166(3): 419-441. May. 25, 1983.
- (44) Stent, G.S. op. cit. p. 668.
- (45) Monod, J., A.M. Pappenheimer, Jr., and G. Cohen-Bazire. La cinétique de la biosynthèse de la β -galactosidase (lactase) chez E. coli. La spécificité de l'induction. Biochim. Biophys. Acta. 9(648). 1952.
- (47) Jacob, F., and J. Monod. Genetic regulatory mechanisms in the synthesis of proteins. J. Mol. Biol. 3: 318. 1961.
- (48) Gilbert, W., and B. Muller-Hill. The lac Operator is DNA. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 58 (2415). 1967.
- (49) Ptashne, M. Isolation of the phage repressor. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 58 (2415). 1967.
- (50) Pastan, L., and R. Perlman. Cyclic AMP in Bacteria. Science. 169: 339-344. 1969.
- (51) Lehninger, A. op. cit. p. 992. Albert Lehninger (recién fallecido) autor de uno de los libros de texto de bioquímica más conocidos, realizó también investigaciones en el campo de la bioenergética, o sea, de los intercambios energéticos de la célula con el medio ambiente y de la "circulación" de esta energía en las rutas metabólicas. Seguramente por su específico campo de investigación A. Lehninger fue también un gran teórico de la llamada "economía celular". En su libro de texto Lehninger dedica el capítulo introductorio ("La lógica molecular de los seres vivos") a darnos una excelente versión de la célula de acuerdo a los principios del intercambio de equivalentes de la sociedad mercantil. No quiero decir con ello que los principios de economía aducidos por Lehninger a las células sean inexistentes,

sino más bien que esta parte de la realidad celular (el intercambio energético y material, la producción y reproducción de la célula) es mejor conocida y aprehendida con la mediación de un conocimiento más básico, general y "macroscópico", el de la producción y el intercambio mercantil. No es casual que al ATP (adenosín trifosfato) se le llame la "moneda" del metabolismo celular, debido a su papel como mediador o "lubricante" de la "circulación" de energía química entre los componentes biomoleculares.

(52) Una vez más destacamos el uso significativo del tipo de lenguaje. En este caso, se adopta el lenguaje cibernético-computacional, cada vez más esencial al proceso de producción, conforme avanza el desarrollo de las fuerzas productivas a la automatización del trabajo. A su vez, dicho lenguaje computacional se basa una concepción histórico-social de los procesos de la conciencia (memoria, lenguaje, etc). La formación, asociación y recuerdo de ideas en la conciencia es comprendido únicamente en su linealidad, debido a la necesidad inmediata, socialmente necesaria, la utilización de estos procesos en la producción.

(53) Stent, G.S. op. cit. p. 511-512.

(54) Hogland, M.B., et al. A soluble ribonucleic acid intermediate in protein synthesis. J. Biol. Chem. 231 (241). 1958.

(55) Zamenick, P.C. Protein synthesis. Harvey Lect. 54 (256). 1960.

(56) Lehninger, A. op. cit.

(57) Stent, G.S. p. 513.

(58) Berg, P., F.H. Bergmann et al. J. Biol. Chem. 236 (1726). 1961.

(59) Holley, R.W. The nucleotide sequence of a nucleic acid. Sci. Am. Febr. 1966.

(60) Kim, S.H. et al. Three-dimensional structure of yeast phenylalanine transfer RNA. Science. 185 (436): 435-440. 1974.

(61) Klug, A., J.D. Robertus et al. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 71 (3771). 1974.

(62) Lake, J. A. The ribosome. Sci. Am. 245 (2): 84-97. Aug. 1981.

(63) Lake, J.A. Ribosome structure and tRNA binding Sites. In: Transfer RNA: structure, properties and recognition. Ed. by Schimmel, P.R., D. Soll and J.N. Abelson. Cold Spring Harbor Lab. 1979.

(64) El análisis detallado del ciclo de elongación ha sido posible, principalmente en la década presente, debido a los avances en el estudio de la estructura

tridimensional y la funcionalidad de los ribosomas, así como de los tRNA. Al respecto Cfr. los artículos de J.A. Lake antes citados así como los siguientes:

Engelman, D.M. and P.B. Moore. Neutron scattering studies of the ribosome. Sci. Am. 235 (4): 44-54. Octubre, 1976.

Brimacombe, R., G. Stoffler and H.G.W. Witlmann. Ribosome Structure. Annu. Rev. Biochem. 47 (217). 1978.

Nomura, M., A. Tissiers and P. Legyel (eds.) Ribosomes. Cold Spring Harbor Laboratory, New York. 1974.

(65) Lehninger, A. op. cit. p. 932-933.

(66) Nirenberg, M.W., and J.H. Matthaei. The dependance of cell free protein synthesis in *E. coli* upon naturally occurring or synthetic polyribonucleotides. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 47: 1588-1602. 1961.

(67) Nirenberg, M.W., and P. Leder. RNA codewords and protein synthesis. Science. 145. 1399-1407. 1964.

(68) The Genetic Code. Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol. Vol. 31. 1966.

(69) Stent, G.S. op cit. p.

(70) Crick, F.H.C. Codon-anticodon pairing: the wobble hypothesis. J. Mol. Biol. 19: 548-555. 1966.

(71) Margulias, L. 1981. Symbiosis in Cell Evolution. W.H. Freeman and Co. San Francisco.

(72) Jukes, T.H. Molecules and Evolution. Columbia University Press, New York. 1966.

(73) Crick, F.H.C. The origin of the genetic code. J. Mol. Biol. 38: 367-379. 1968.

(74) Hertz, J.C. and R.W. Davis. Cleavage of DNA by RI Restriction endonuclease generates adhesive ends. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 69 (3370). 1972.

Sinsheimer, R.L. Recombinant DNA. Annu. Rev. Biochem. 46 (415). 1977.

(75) Lehninger, A.L. 1979. op. cit.

(76) Morrow, J., S. Cohen, A. Chang, H. Boyer, H. Goodman and R. Helling. Replication and transcription of eukaryotic DNA in *E. coli*. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 71 (1743). 1974.

(77) Balbás, P. y F. Bolívar. Ingeniería Genética. En: Peña, A (comp.) La Biología Contemporánea. UNAM. 1983.

(78) Temin, H. and D. Baltimore. RNA-directed DNA synthesis and RNA tumor viruses. Adv. virus. Res. 17 (129). 1972.

(79) Bolívar, F. Ingeniería Genética Molecular. Ciencia (31): 155-163, 1980.

(80) Ibid.

(81) La "transformación" es el proceso por el cual una bacteria "absorbe" fragmentos de DNA presentes en su medio ambiente por ej. en el caldo de cultivo en que crece- y los incorpora a su acervo genético. Se trata de un mecanismo estudiado desde los años '40's, y ha tenido gran importancia en la historia de la biología molecular.

Hotchkiss, R.D. y E. Weiss. Nov. 1956. La transformación bacteriana. Sci. Am.

NOTAS Y BIBLIOGRAFIA AL CAPITULO II

(1) Ondarza, R. "La biología, herramienta futurista" en: Alcaraz, J.A. et. al. 1981. Los 80: El futuro nos visita. Conacyt, México.

(2) Ondarza, R. op. cit.

(3) Ondarza, op. cit. De nuevo habláremos de la "jitopapa", al referirnos al dudoso equilibrio "ecológico interno" de estos organismos.

(4) Rogers, M. Synthetic-Seed Engineering. Newsweek. 102 (22): 53-54. Nov. 28. 1983. Cfr. el Apéndice a este trabajo.

(5) Bears, R.F. y E.G. Bassett. 1977. Recombinant Molecules: Impact on Science and Society. Raven Press. New York.

(6) La voz del consumidor. 5 (4). Octubre-Diciembre. 1987. Organo de difusión para Latinoamérica de la Organización Internacional de Uniones de Consumidores (IOCU). Todo este número está dedicado al tema de "Las nuevas biotecnologías y el movimiento de los consumidores".

(7) Ibid.

(8) Randal, J. "La procreación de la vaca perfecta". Información Científica y Tecnológica. 4 (64): 8-13. Marzo 1982.

(9) "Mighty Mice". Time. 120 (26): 43. Dic. 20, 1982.

(10) Lefevre, H. 1978. El Derecho a la Ciudad. Ediciones Península, Barcelona.

(11) Rose, A.H. The microbiological production of food and drink. Sci. Am. 245 (3): 126. Sept. 1981.

(12) Ondarza, R. op. cit.

(13) Rose, A.H. op. cit.

(14) Información Científica y Tecnológica. 1 (3): 5-7

(15) Ibid.

(16) Echeverría, B. La "forma natural" de la reproducción social. Cuadernos Políticos. (41): 33. México. Jul-Dic. 1984.

(17) La hemofilia es una enfermedad genética ligada al sexo masculino y asociada -tradicionalmente- con la nobleza, debido a la alta incidencia debida a los matrimonios consanguíneos. La incapacidad de coagulación de la sangre podría provocar la muerte con el más pequeño rasguño. En la actualidad 20 de cada 100 000 varones nacen con esta carencia genética.

(18) The High Tech Race. Who's ahead? Special Report. Fortune, No. 21, Oct. 13, 1986.

(19) Genetic Fix. Time, 120 (25): 38, Dic. 20, 1982.

(20) El tema del cáncer es de primordial importancia si se desean comprender las condiciones sociales generales que posibilitaron el desarrollo de la biología molecular y la ingeniería genética. Este tema será tratado con mayor profundidad en el Capítulo III.

(21) Clark, M. Spotting the Cancer Virus. Newsweek, 99 (18): 42, May. 3, 1982.

(22) Clark, M. "A virus that causes cancer. Newsweek, 100 (14): 50, Oct. 4, 1982.

(23) Wallies, C. Advances in the war on cancer. Time 120 (19): 56-57, Nov. 8 1982.

(24) Ya en etapas tan tempranas del capitalismo como el siglo XVIII las condiciones inhumanas del trabajo y las jornadas laborales casi ininterrumpidas de hasta 18 hrs. debidas a la "hambruna de plus-trabajo" (Marx) del capitalista genera - ron una gran variedad de enfermedades laborales, especificas de cada rama indus - trial u oficio; para un recuento histórico e, incluso, médico, véase el Capítulo VIII del tomo I de El Capital, de K. Marx. ("La Jornada Laboral"). Sin embargo, el caso del cáncer ilustra una forma distinta de enfermedad "históricamente configura da", pues sus causas se encuentran más en el consumo de los productos del trabajo capitalistas, que en la forma de dicho proceso de trabajo/valorización.

(25)

(26) ibid.

(27) ibid.

(28) ibid.

(29) The High Tech Race. Who's ahead? op. cit.

(30) Las determinaciones del proceso de trabajo, así como su esencialidad, son temas que se tocarán mas detalladamente en las conclusiones al presente trabajo. Sin embargo, el tema es de tal importancia que se hace imposible presentarlo aquí con suficiencia. Al respecto, Cfr. Marx, K. El Capital. Tomo I, Cap. V. ("Proceso de trabajo y proceso de valorización). Así como:

Lukács, G. 1983. Historia y Conciencia de Clase. Edit. Grijalvo, S.A. México. En especial el prólogo a dicha edición.

Kosik, K. 1985. Dialéctica de lo Concreto. Enlace Grijalvo. México.

(31) Marx, K. El Capital. Siglo Veintiuno Editores. México, 1984. p. 215 (Cap.V).

(32) op. cit. p. 217.

(33) La crisis de energéticos es una de las causas coyunturales de mayor importancia para el auge y desarrollo de la ingeniería genética. Sin embargo, la indicación de estas causas más "económicas" ha quedado fuera del objetivo del presente trabajo.

(34) Evidentemente, no nos referimos a que todos estos diferentes procesos estén yuxtapuestos y sean indiferenciables entre sí. El análisis extremo de la biología burguesa precisamente ha logrado su separación y estudio detallado. Por continuidad espacio-temporal del metabolismo hemos querido decir, más bien, que los diminutos espacios y los cortísimos tiempos en que transcurren estas reacciones al interior de la célula, así como su fluidez ininterrumpida representan una forma radical de organización del trabajo natural (metabolismo). Por ello este concepto nos llevará tendencialmente al de la automatización del proceso de trabajo "biotecnológico".

(35) El desarrollo de "bio-hornos" (fermentadores) cada vez más adecuados es una de las ramas a la que se le dedica mayor presupuesto de investigación biotecnológica (Cfr. el Apéndice a este trabajo), pues se requiere de ellos esterilidad, presión y temperatura constante, así como la forma más edificente de distribución homogénea de los nutrientes que requieren los microorganismos.

(36) "La computadora orgánica". Información Científica y Tecnológica 4 (72): 38.

(37) Existe la posibilidad de utilizar todos estos conocimientos técnicos en la práctica de una lobotomía futura más sofisticada. La integración de biochips dentro de los individuos podrá ejercer un mayor dominio de la fuerza de trabajo y, aún, de la conciencia, si bien en la actualidad esto parezca sólo una pesadilla.

(38) Con las fuerzas productivas se busca que el hombre sólo regule y vigile el proceso de trabajo, es decir, que disminuya al trabajo inmediato (Marx, K. Grundrisse p. 592).

(39) Marx, K. El Capital. Siglo Veintiuno Editores. México, 1984. Caps. XI, XII y XIII. Tomo I. En el capítulo sobre "Maquinaria y gran industria" se desarrolla la teoría de que las máquinas, conforme se desarrollan, van adoptando materialmente, la forma social histórica a la cual pertenecen, en este caso incorporando técnicamente la cooperación (Capítulo XI) y la división del trabajo (Capítulo XII), que son fuerzas productivas de la organización del trabajo, y las primeras de las que se apropia el modo de producción actual.

(40) En la actualidad la ingeniería genética trabaja tan sólo con los genes y proteínas ya existentes de los organismos, sin embargo, se encuentra desarrollando el conocimiento y técnicas que permitan el análisis de la relación entre estructura molecular y función catalítica con el objeto de -en un próximo futuro- diseñar las biomoléculas adecuadas a sus necesidades.

(41) Aún en el caso de los "beneficios" que podría aportar la ingeniería genética es necesario conservar una perspectiva crítica. Tales beneficios corresponden a una forma del conocimiento biológico históricamente dado, que puede confrontarse con una posible biología globalizadora, más adecuada tanto a la naturaleza de los seres vivos en general, como del hombre en particular.

(42) La discusión entre los distintos grupos científicos o ecologistas en torno a la potencial nocividad de la ingeniería genética transcurre exclusivamente desde la perspectiva del mal uso de la tecnología, es decir, de su utilización capitalista; por ello es que así se presenta dicho debate en el presente capítulo. Sin embargo, nuestra intención -que haremos de redondear en el siguiente capítulo y en las Conclusiones- es la de mostrar que la bitemología tiene una forma social adecuada a las determinaciones básicas, estructurales, del modo de producción en que se desarrolla. El valor de uso técnico, la maquinaria, etc., son la expresión más radical de la subordinación de todo lo material a la lógica del capital. En su origen, en su historia, en su diseño mismo, las máquinas y técnicas encuentran, junto a su forma natural, una forma social determinada por las condiciones todas de su existencia. (Marx, K. El Capital, Capítulo XIII, Tomo I).

(43) Cfr. el artículo de Silvia Alvarado "Más noticias sobre Chernobyl", en Revista Itaca No. 5, en el que también se refiere cómo es que se culpa a los individuos por los accidentes que genera un sistema tecnológico que corresponde más bien a una forma de organización social.

(44) Grobstein, C. Jul. 1977. The Recombinant-DNA Debate. En: Davern, C.I. (ed.). 1981. Genetics: Readings from Scientific American. Freeman and Co. San Francisco.

(45) Ibid.

(46) Cfr. el Apéndice del presente trabajo.

(47) Bértmudez, G. op. cit.

(48) Grobstein, C. op. cit.

(49) Nussbaum, B. 1985. El Mundo tras la Era del Petróleo. Edit. Planeta. México co. p. 45.

(50) *Ibid.* p. 44.

(51) *Ibid.* p. 44.

(52) "Desde la publicación de los primeros trabajos referentes a esta técnica se han imaginado los mayores terrores, que evidentemente han chocado con la imaginación del público. Y después hoy, sin explicación aparente (sic), estos terrores se han calmado y ya sólo se habla de los beneficios de todo tipo que traerá esta técnica. Personalmente creo que la ingeniería genética desempeñará un papel comparable al de la Revolución Industrial en el siglo pasado. Los peligros no deben ser exageradamente aumentados (sic)..." Jonas Salk (renombrado inmundólogo). En: Salomón, M. El futuro de la vida. 1982. Edit. Planeta, Barcelona, p. 252.

(53) Cfr. el Dossier: "Capitalismo contemporáneo y destrucción ecológica mundial". En Revista Itaca No. 5.

(54) Rifkin, J. La ingeniería Genética o los peligros de reinventar el mundo. Revista Testimonios. 1986. No. 3.

(55) Información del S.I.P.R.I.

(56) Bernatein, J.J. Jun. 1987. The birth of the U.S. biological warfare program. Sci. Am. 256(6): 94-99. Este artículo contiene una descripción de algunos aspectos del origen de la investigación de armamento biológico y, en especial, un enlistado de científicos renombrados comprometidos con el proyecto. Destaca entre ellos el químico G. Merck, director original del proyecto en 1942, y actualmente presidente de la empresa farmacéutica Merck and Co. Inc.

(57) *Ibid.* págs. 94 y 99.

(58) Cfr. Introducción al Dossier de la Revista Itaca No. 5, por Andrés Barreda M.

(59) Rifkin, J. op. cit.

(60) La postura de 'dar marcha atrás' no es, de ningún modo, exclusiva de los ecologistas. La antropología empirista y especializada sostiene la misma "teoría de la historia", y es más bien el movimiento ecologista el que se rige por este discurso antropológico. En su ensayo crítico "La sociedad opulenta primitiva" (Cfr. Economía de la Edad de Piedra; Akal Editor. Madrid, 1977), Marshall Sahlins sostiene que "... (i) sólo existen dos alternativas históricas (i), a la opulencia se puede llegar por dos caminos diferentes. Las necesidades pueden ser fácilmente 'satisfechas' o produciendo mucho (la economía de mercado) o bien deseando poco (la estrategia Zen)". Y es que -dice Andrés Barreda- para Sahlins "... la escasez

es algo irrefutable: sea por que las necesidades 'deben ser' (caso del Zen) escasas, sea por que las capacidades son trágicamente escasas (caso del capitalismo)". Lo que más bien sí es transhistórico es "...el hecho de que los hombres necesiten producir sus necesidades, vale decir autogestionarlas y coordinarlas libremente (...) ¿O cómo se imagina M. Sahlins que se dió el paso de las sociedades de cazadores/recolectores a las de agricultores? (...) más bien desconoce la especificidad básica de todo el género humano". Cfr. la Nota 24 de Andrés Barreda al artículo de J. Veraza "El materialismo histórico en 'El origen de la familia, la propiedad privada y el Estado". En Revista Itaca No. 2.

(61) Cfr. el artículo "Carlos Marx y la Técnica. Desde la perspectiva de la vida. Por J. Veraza en Revista Críticas de la Economía Política 22/23, en el que se propone retomar la crítica global como el camino para construir una Historia Crítica de la Tecnología.

(62) Parece ser que el fundador del Land Institute es Alfred North Whitehead, a quien nos volveremos a referir en el Apéndice.

(63) Periódico Excelsior, Jueves 30 de Enero de 1986. "Agricultura Alternativa" por Dennis Farney, de AP Dow Jones.

NOTAS AL CAPITULO III

(1) Yoxen, E. "The idea of a Fundamental Biology in its Interwar Scientific and Historical Context". Paper presented to the Conference on the Re-Casting of Science between the Wars, Florence/Rome. June/July, 1980.

(2) "Rockefeller, John Davison". Encyclopaedia Britannica. Micropaedia. (VIII) p. 623.

(3) Yoxen, E. op. cit.

(4) Ibid.

(5) Bernal, J.D. 1971. La Ciencia en Nuestro Tiempo. UNAM/Nueva Imagen. México.

(6) Grobstein, C. Júl. 1977. The recombinant-DNA Debate. En: Davern, C.I. (ed.) 1981. Genetics: Readings from Scientific American. Freeman and Co. San Francisco.

(7) El cáncer es una enfermedad cuyo origen se debe a una alteración o mutación del material genético de una o varias células en un tejido del paciente. Dicha mutación puede ser heredada de los padres, pero más particularmente se trata de alteraciones genéticas latentes que son activadas por algún agente mutagénico externo, como lo son muchas sustancias químicas (contaminantes atmosféricos, colorantes y saborizantes artificiales, conservadores de alimentos, etc.), virus, irritación y daño continuo en el tejido, radiación ultravioleta, radioactividad, etc. Es decir, existe una estrecha relación entre el tipo de estímulos a los que está sujeto un individuo y la aparición o manifestación del cáncer; de hecho los diferentes agentes mutagénicos se relacionan con tipos particulares de cáncer (por ej., la relación entre el fumar y el cáncer de pulmón, o entre un alto consumo de carne y el cáncer de intestino delgado...). Si hacemos un análisis y balance de los agentes cancerígenos más comunes nos encontramos que el consumo de éstos por una población dada se encuentra estrechamente relacionada con el grado de industrialización de la sociedad a la que pertenece.

Las células cancerosas pierden algunas de sus propiedades más básicas, como el llamado "reconocimiento por contacto", mediante el cual todas las células de un mismo tejido se identifican entre sí, y se reproducen y distribuyen ordenadamente en un espacio limitado. Una vez que las membranas externas de las células han perdido la capacidad de reconocerse se reproducen sin límite hasta formar cúmulos de ellas sin forma alguna (tumores). Estas células enfermas pueden incluso viajar a otros tejidos del cuerpo (metástasis) a través de los vasos linfáticos y sanguíneos: no "recuerdan" su identidad original con un tejido específico, han perdido las características que las diferenciaban de otros tipos celulares.

(8) La incidencia de cáncer (y hay más de cien tipos diferentes) es increíblemente más alta de lo que se detecta con los métodos convencionales de diagnóstico. Muchos tumores entran en fase regresiva antes de crecer, o se desarrollan tan despacio que no dan lugar a síntomas durante la vida del paciente -que parece por otras razones-, y estas dos razones explican por que no se detectan todos los cánceres que aparecen en la población. Sin embargo, si se hicieran exámenes detallados en todos los órganos del cuerpo de cada habitante resultaría que "...hacia la madurez cada uno de nosotros ha adquirido varios nidos de células proliferativas e invasoras que pueden ser clasificadas razonablemente como cánceres". (Subr. mfo. Cairns, J. Nov. 1975. The cancer problem. Sci. Am. 233(5): 64-78.

(9) El período de incubación de cualquier cáncer se remonta al momento en que se dió el "primer paso" a partir del contacto con el agente carcinógeno. Varios estudios de poblaciones de emigrantes demuestran que la incidencia de muchos cánceres comunes está parcialmente determinada por el ambiente que nos rodea durante la juventud. Ibid. p. 67.

(10) Ibid. p. 67

(11) Barreda, A.

(12) Cairns, J. op. cit. p. 68.

(13) Coleman, W. La biología en el Siglo XIX. Breviario del Fondo de Cultura Económica. México.

(14) Allen, G.E. 1983. La ciencia de la vida en el Siglo XX. Breviario del Fondo de Cultura Económica. México.

(15) Stent, G.S. y R. Calendar. Molecular Genetics. 1978. W.H. Freeman and Co. San Francisco.

(16) Delbruck, M. Un físico se asoma a la Biología. En: Antología de la Biología Molecular. Castañeda M. (ed.). UNAM, 1985. Texto original publicado en Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences, 38, 173 (1949). Max Delbruck intenta comprender la diferencia esencial entre los sistemas físicos-biólogos pien san la realidad viviente: "El físico ha sido formado dentro de una atmósfera diferente. Los materiales y fenómenos con que trabaja son los mismos, aquí y ahora, co mo lo han sido en todos los tiempos y como lo son en las más lejanas estrellas. Trabaja con cantidades medidas exactamente y sus interrelaciones causales, y en términos de esquemas conceptuales sofisticadas. El hecho sobresaliente de la historia de la física es la unificación (...). Así, y por encima de todo, la química y la física atómica fueron unificadas por el esquema conceptual de la mecánica cuán-

tica, y al precio mayor de todos, el de renunciar al ideal de la descripción causal en tiempo y en espacio (...) Cualquier célula significa más un evento histórico que un físico (...) el problema fundamental en biología, desde el punto de vista del físico, es el cómo la materia se las ingenia para registrar y perpetuar su experiencia" p. 25-27 (subrayado mío).

(17) Stent, G.S. y R. Calendar. op. cit.

(18) Schrodinger, E. 1983. (primera edición en 1944). ¿Qué es la vida? Tusquets Editores. Barcelona.

(19) Stent, G.S. op. cit.

(20) Schrodinger, E. op. cit.

(21) Allen, G.E. op. cit. y Stent, G.S. That was the molecular biology that was. Science. (168): 390. Abril 26 de 1968.

(22) La importancia de las proteínas no podía ser sobreestimada, opinaban los biólogos, y de esta posición dogmática y reduccionista del nivel biomolecular tenemos repercusiones culturales y económicas notorias, como lo es el hecho de creer que el alimento básico deba consistir casi exclusivamente de proteínas, olvidando la importancia y tradición del consumo de carbohidratos complejos, grasas y otros. Con ello se nos hace creer en una "alimentación reduccionista".

(23) Kuhn, T.H. La estructura de las revoluciones científicas. Fondo de Cultura Económica. México.

(24) Stent, G.S. y R. Calendar. op. cit.

(25) Ibid.

(26) Linus Pauling es reconocido, casi por unanimidad de la comunidad científica, como el más grande químico del Siglo XX. Su trayectoria personal, de la química a la bioquímica, representa -una vez más- esa tendencia que hemos señalado hacia la "cuantitativización" de la biología y hacia su análisis cada vez más "atomizado".

(27) Como ya se mencionó en el Capítulo I el primero de estos grupos lo constituyó Linus Pauling, en California E.U.A., el segundo lo formaban M. Wilkins y R. Franklin "peleados a muerte" en King's College, Inglaterra, y el tercero se encontraba en el Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge, en el que trabajaban J. Watson y F. Crick.

(28) Véase para ello la Historia contada por uno de sus protagonistas. Watson, J.D. 1981. La doble hélice. Conacyt. México.

(29) Ramunni, G. 1983. Los premios N6bel. El peso de los criterios politicos. Mundo Cientifico. 31 (3): 12-31.

(30) ¿Y qué podríamos esperar de unos premios instituidos por el millonario industrial inventor de la dinámica y cuyo "pacifismo" consistia en preservar la paz mediante el terror de las armas, invitando a las potencias europeas de fines del Siglo XIX a que se dotaran de los medios necesarios para castigar militarmente al país que desencadenara un conflicto. Ibid. p. 12-30.

NOTAS A LAS CONCLUSIONES

(1) Sin embargo, no vaya a creerse que este tipo de conocimiento es el único históricamente posible. El modo griego de conocer la realidad es, según Heidegger, superior a la ciencia físico-matemática contemporánea. Cfr. "La época de la imagen del mundo". Sendas perdidas.

(2) Marx, K. El Capital. Siglo Veintiuno Edits. México, 1984. Tomo I, Capítulo XIII p. 451.

(3) Marx, K. op. cit. Capítulo V. p. 216-217.

(4) "Ya el trabajo más primitivo, ya la selección de guijarros por el hombre prehistórico, presupone un reflejo adecuado de la realidad inmediata aquí considerada. Pues no es posible que se realice con éxito ninguna posición de fines sin una refiguración, por primitiva e inmediata que sea, de la realidad por ella mentada. La práctica no puede ser consumación y criterio de la teoría sino porque le subyace ontológicamente, como presupuesto real de toda real posición teleológica, una refiguración de la realidad tomada por verdadera".

Lukacs, G. Historia y conciencia de clase. Edit. Grijalvo, S.A. México, 1983. pxxvii.

(5) Marx, K. op. cit. Capítulo V. p. 223.

(6) Ibid. p. 224

(7) Ibid. p. 226.

(8) Esta producción de valor y de plusvalor puede ocurrir porque a la diferenciación entre proceso de trabajo general o esencial, y proceso de trabajo capitalista o proceso de valorización, corresponde una diferencia, al seno de este último, entre trabajo concreto (productor de valores de uso y trabajo abstracto (formador del valor de una mercancía). El trabajo concreto se realiza mediante la fijación del telos o finalidad y el quehacer práctico adecuado -exactamente se trata del proceso de trabajo universal o básico-, mientras que el trabajo abstracto es mera actividad, mero desgaste físico que media el intercambio de mercancías. Precisamente el valor es tiempo de trabajo socialmente necesario, es trabajo abstracto, igual en todos los productores, mera cantidad homogénea de trabajo que ha ce posible la equivalencia de mercancías diferentes. Como toda mercancía, la fuerza de trabajo también tiene un valor, que es la cantidad de trabajo socialmente necesaria para reproducirla, es decir, la suma del valor de los medios de subsistencia que requieren el obrero y su familia, socialmente determinados tanto

por el grado de desarrollo del movimiento obrero como por el tiempo de trabajo que se requiere socialmente para su producción. Sin embargo, el que la fuerza de trabajo tenga un valor determinado que se le paga al obrero en forma de salario para su reproducción, no indica que sólo esa sea el tiempo que trabaja el obrero. El exceso de tiempo trabajado por el obrero, más allá del valor de su propia fuerza de trabajo, constituye el plusvalor.

La distinción puntual de estas determinaciones de la mercancía (valor y valor de uso), del trabajo (concreto y abstracto), etc., no puede llevarse a cabo en este trabajo. Sin embargo es de importancia destacar su determinabilidad y significado más inmediato para el problema que aquí nos ocupa.

(9) Marx, K. op. cit. Cfr. Capítulo X, "Concepto del Plusvalor Relativo", así como, en general, toda la Sección IV del Tomo I.

Para una comprensión suficiente y no dogmática del significado del plusvalor relativo y extraordinario se ha adoptado, totalmente la interpretación que a estos conceptos da Andrés Barreda M., a quien, principalmente, se deben las enseñanzas y utilización específica del materialismo histórico y de la crítica de la Economía Política.

NOTAS AL APENDICE "Quién es quién en la Ingeniería Genética"

- (1) Nussbaum, B. 1983. El mundo tras la Era del Petróleo. Edit. Planeta, México, p. 36.
- (2) TIME, Dic. 20 de 1982. y Newsweek, abril 19 de 1982.
- (3) De Young, H.G. Homing in on Healthcare. 1985. High Technology. 5(8): 53-55.
- (4) Bermudez, G. Ingeniería Genética: Edad de Oro o Apocalipsis. Información Científica y Tecnológica. 5(90): 47-50.
- (5) Nussbaum, B. op. cit. p. 38
- (6) Begley, S. et. al. The big money of biology. Newsweek. 99(16): 43-44.
- (7) Alexander, T. Venture capitalists' Private Bets. Fortune. 109(9): 75-84.
- (8) Bermudez, G. op. cit. p. 48.
- (9) Begley, S. et. al. op. cit. p. 43.
- (10) Nussbaum, B. op. cit. p. 40.
- (11) Begley, S. et. al. op. cit. p. 43.
- (12) Ibid.
- (13) Levy-Leblond, J.M. y A. Jaubert (comps.) 1980. (Auto) crítica de la Ciencias. Nueva Imagen, México.
- (14) Tucker, J.B. 1985. Managing the industrial miracle. High Technology. 5(8): 22-30. La fuente de información de este artículo es la Fundación Nacional de la Ciencia del Japón.
- (15) De Young, H.G. op. cit. p. 53-55.
- (16) Nussbaum, B. op. cit. p. 40.
- (17) Folleto publicitario de Biofutur, S.A.
- (18) Nussbaum, B. op. cit.
- (19) Todas ellas tomadas de la revista "La voz del Consumidor", 5(4). Oct-Dic. 1987. (Revista de Difusión de la Organización Internacional de Uniones de Consumidores, I.O.C.U.).