



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

DETERMINISMO GENÉTICO Y EL CONCEPTO DE GEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A

GIL GONZÁLEZ MARÍN

DIRECTOR DE TESIS:

DRA. ANA ROSA BARAHONA ECHEVERRÍA



2007



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

# Índice

<b>Introducción.....</b>	<b>i</b>
<b>Capítulo 1. Causalidad y Explicación Científica.....</b>	<b>1</b>
• Las Explicaciones Teleológicas.....	1
• El mecanicismo y el vitalismo.....	3
• Reduccionismo y Determinismo.....	8
• Determinismo y programa genético.....	17
• Las partículas de la herencia.....	19
<b>Capítulo 2. Los Genes y la Naturaleza. ....</b>	<b>26</b>
• El concepto de gen.....	26
• El papel de la epigénesis .....	31
• Genes y cultura .....	41
• Genes y ambiente .....	45
• “Genes para” o no “genes para”.....	48
• La plasticidad fenotípica y su relación con los genes.....	52
<b>Capítulo 3. El Determinismo Genético y su relación con la Sociedad. ....</b>	<b>56</b>
• El ascenso del determinismo en la sociedad.....	56
• La ciencia reduccionista y la biología molecular.....	66
• Los estudios genéticos y su influencia social.....	74
• El Proyecto del Genoma Humano.....	82
<b>Capítulo 4. Conclusiones. ....</b>	<b>91</b>
<b>Literatura Consultada. ....</b>	<b>98</b>

## Introducción

La biología moderna es una ciencia capaz de explicar un gran número de sucesos y fenómenos relativos a las características fisiológicas de los organismos; preguntas como: ¿qué determina el color de los ojos?, ¿porqué algunas personas son susceptibles al cáncer, o a las enfermedades del corazón?, ¿porqué algunas personas tienen dotes musicales? Son preguntas que fácilmente pueden intrigar a cualquiera, sin embargo, ¿Cómo podemos responder a estos cuestionamientos? Hasta hace poco tiempo se consideraba que la respuesta a tal tipo de preguntas provenía de diversas fuentes de información, ya sea del campo de la fisiología, psicología o de la sociología. Sin embargo, la reciente fascinación por el estudio molecular en biología parece sugerir que las respuestas a todas estas preguntas que tratan de explicar el comportamiento social o inclusive las mismas bases de la naturaleza humana se encuentran sólo en una fuente: nuestro material genético.

La búsqueda de la mejor manera de explicar los fenómenos de los seres vivos tiene su origen muy atrás en el tiempo, con la consolidación de la biología como ciencia y el reconocimiento de las explicaciones teleológicas como parte de ella. Sin embargo, ha tendido a divergir con el paso del tiempo. Si bien en un inicio los procesos del desarrollo de los seres vivos eran explicados como meras ecuaciones y simple movimiento de cuerpos con similitud a las máquinas, el mecanicismo del siglo XVII estableció la metáfora del organismo-máquina que formulaban las primeras explicaciones formales en biología.

Hoy por hoy, la discusión acerca de las maneras de explicar los fenómenos biológicos sigue estando vigente, el mecanicismo parece tener cabida en muchos aspectos de la investigación científica actual. Las estrategias de explicación científica que observamos en el trabajo de laboratorio son en su mayoría reduccionistas y pretenden comprender la complejidad de procesos biológicos mediante el conocimiento de los niveles “básicos” de los seres vivos. En particular, la biología evolutiva, con el apoyo de la genética, proclama tener el poder de explicar con un alcance casi sin límites y con una capacidad de predicción sin barreras la naturaleza misma del ser humano, esto es el denominado determinismo genético.

El desarrollo de nuevas técnicas de análisis y procedimientos de estudio han permitido que la investigación en biología molecular experimente avances a grandes saltos en el conocimiento de la bioquímica de los organismos. Sin embargo, el determinismo genético, como una noción de pensamiento, interpreta a los genes como los únicos o últimos agentes causales del desarrollo de los organismos. El determinismo genético trata de reducir todo tipo de explicación científica sólo al estudio de los genes, e interpreta la naturaleza misma de los organismos como un reflejo de su conocimiento molecular, niega la influencia del ambiente en el desarrollo de los organismos y no considera en sus explicaciones a otro factor que no sea el genético.

El estudio genético y la ingeniería genética de nuestros días se presentan ante nosotros con diferentes ambiciones. Mientras que el estudio genético pretende tener una capacidad de predicción sin fronteras, la ingeniería nos promete la erradicación de diversas enfermedades hereditarias. Así pues, bajo la cobija de la investigación científica surge una idea de control, basada en la creencia de una invariabilidad que en la actualidad se encuentra representada por el gen y la ideología de fondo que lo respalda, el determinismo genético.

Por medio del estudio de la ideología del determinismo genético pretendo mostrar que dentro de las prácticas científicas modernas, el determinismo biológico o genético sigue vigente. La gran influencia del pensamiento mecanicista en las formas de explicación científica ha propiciado la existencia de las explicaciones deterministas dentro del cuerpo de conocimiento de la ciencia. A pesar de que se niega la apelación a un determinismo genético en el quehacer científico de nuestros días, se siguen explicando enfermedades y afecciones humanas en términos únicamente de genes.

El gen (o los genes) son entidades que comúnmente están relacionadas con efectos irreversibles y denotan en todo momento las limitaciones que tenemos para cambiar sus efectos. Esta idea de que los efectos de los genes son inevitables es propiamente la consecuencia de un mal empleo de estrategias reduccionistas y del sesgo del determinismo genético. Creo pues, en la necesidad de hacer un análisis acerca del conocimiento real que

se tiene de los genes y su poder de alcance en la explicación del desarrollo de los organismos denotando que, como recurso explicativo, el empleo de una estrategia reduccionista es útil y que inclusive puede ser necesaria, pero siempre advirtiendo las ventajas, sesgos y riesgos de su empleo en la investigación científica.

Este trabajo de tesis tiene como objetivo explicar, mediante un estudio filosófico e histórico, el origen de esta visión del mundo del determinismo genético, por una parte, y por la otra, explicar el surgimiento del concepto de gen, así como su papel en los procesos del desarrollo y herencia de los organismos. En el Capítulo 1 hago notar el origen del determinismo genético como la consecuencia y herencia de la discusión entre el mecanicismo y el vitalismo del siglo XVII. Asimismo haré énfasis en el hecho de que las nuevas prácticas científicas se enfocan, a partir de la consolidación de la ciencia moderna, en el surgimiento de ambiciosos proyectos que incluyen en sus planteamientos, fenómenos que pretenden presentar regularidades cuantificables y predecibles de la naturaleza misma, incorporando de esta manera un pensamiento de caracterización mecanicista y fisicalista. Esta forma de raciocinio permite la consolidación de leyes a partir de estos mecanismos; sin tomar en cuenta elementos adicionales que puedan tener una influencia importante adicional a la sola idea del funcionamiento de una máquina. De igual modo me he propuesto realizar un análisis del problema concerniente al desarrollo de los organismos, concretamente el problema del paso del genotipo al fenotipo, con la finalidad de aclarar una realidad compleja de relación entre los organismos y su ambiente (interno y externo), denotando que la carga genética es valiosa y necesaria para la creación de fenotipos, pero que de ninguna manera representa ser suficiente para tal cometido.

Por otra parte, en el Capítulo 2 trataré a la entidad del gen y la problemática de su definición. De esta manera pretendo aclarar el poder real de explicación que tienen y el papel que juegan en el desarrollo ontogénico de los organismos, haciendo referencia a las relaciones existentes entre el ambiente interno (relaciones entre genes y maquinaria celular) así como la retroalimentación presente con el ambiente externo. Para tal hecho, apoyaré mi argumento en los textos de autores como Phillip Kitcher y Evelyn Fox Keller. Asimismo haré énfasis en la utilidad del mismo como una mera herramienta en la investigación

científica y no como un concepto que presente una correspondencia física delimitable en el genoma.

Hacia el Capítulo 3 expondré cuáles son los aspectos más relevantes que permiten el surgimiento del cuerpo de la ciencia como una necesidad inherente al sistema de producción capitalista para generar tecnología y el eventual surgimiento de la ideología del determinismo genético como una autojustificación de una estructura social en construcción luego de la incidencia de la idea determinista del mundo, visto éste último como una gran máquina viviente. De esta manera es posible comprender una realidad determinista en las sociedades industriales modernas, que prefieren explicaciones que simplifican fenómenos y procesos complejos en vez de reconocer una realidad multifactorial. Posteriormente haré una breve discusión del significado social del desarrollo de la ciencia reduccionista, y cómo es que ésta falla ante las pruebas de una realidad distinta a la concepción de manipulación que la ingeniería genética prometía con la realización de proyectos tales como el Proyecto del Genoma Humano (PGH). Basándome en ideas de autores como Richard Lewontin y Matt Ridley expondré las razones por las cuales creo que el alcance y poder real del proyecto (PGH) y la biología molecular en la solución de problemas de salud y calidad de vida que promete es dudosa, dada la falsedad del determinismo genético.

Finalmente, en el Capítulo 4 mostraré las conclusiones de esta confrontación entre la ciencia moderna que emplea estrategias de investigación reduccionista así como los sesgos del determinismo en los que parece caer, y la realidad que la genética nos muestra en cuanto a la naturaleza de los genes y el genoma.

Considero que mediante la realización de este trabajo será posible reconocer una realidad más compleja de la que sugiere el determinismo genético, traer a la luz el hecho de que los sistemas vivos conforman una red de relaciones, tanto internamente hablando como con el ambiente externo, de manera tal que existe una retroalimentación de información que permite que aquellas potencialidades que representa la existencia de los genes puedan ser desarrolladas o no. Demostrar el hecho de que la genética no es sinónimo de destino y que urge una visión holista de los organismos en cuanto se refiere a su estudio, pues la tradición

de empleo de estrategias reduccionistas opacan y oscurecen el hecho de que hay más allá que sólo el material genético en la conformación de un ser vivo.

Este trabajo de tesis se ha enfocado al aspecto histórico de la noción del determinismo genético. Es decir, su efecto en el contexto social y la función que ha desempeñado a partir de la revolución científica y el reconocimiento de la ciencia para el desarrollo de tecnología.

---

# Capítulo 1

## Causalidad y Explicación Científica

### Las Explicaciones Teleológicas.

La noción de causalidad ha sido un tema de gran debate en las diferentes teorías del conocimiento. El papel que esta idea toma en la conformación de las explicaciones científicas ha permitido un duradero y controvertido debate, que inclusive hasta nuestros días se observa en muchas discusiones de corte filosófico.

Según Aristóteles, existen diferentes tipos de causas, entendidas como principios explicativos. Éstos son la *forma* que recibe una cosa, la *materia* que forma esa cosa y que persiste en el cambio, el *agente* que lleva a cabo ese cambio, y el *propósito o fin* al que sirve este cambio, cabe mencionar que estas explicaciones por causas no son excluyentes sino complementarias (Martínez, 1997). Las causas finales y formales de Aristóteles son principios explicativos indispensables para describir un proceso en función de la relación del todo con las partes, cuando la explicación va más allá de la mera composición material razonada en términos de las partes. Una causa final es un tipo de causa que permite las explicaciones llamadas teleológicas, que pueden entenderse como un propósito o *telos* intrínseco de las diferentes cosas de comportarse de cierta manera; también puede entenderse como un designio o voluntad divina que le dice a las cosas como comportarse. Por su parte, las causas eficientes se refieren a los agentes causales que provocan cambios.

Es precisamente la aparente oposición entre lo que son las causas finales y las causas eficientes, o bien las explicaciones teleológicas (que hacen referencia a causas finales) y las mecanicistas (que hacen referencia a causas eficientes) de los fenómenos biológicos la que ha persistido en la historia del pensamiento biológico hasta nuestros días como parte de la controversia en torno a los patrones de explicación en biología (García, 2002). En principio se pensaba que el comportamiento de los sistemas podían entenderse descrito por una ecuación. Esta estrategia tenía como cometido principal la eliminación de las explicaciones teleológicas de la física y de la química, así como de las ciencias naturales

como la biología, es decir, se pretendía prescindir de cualquier referencia a un *telos* (Martínez, 1997).

A pesar de que el tipo de estrategia de explicación por medio de ecuaciones se extendió por la física y la química de los siglos XVIII y XIX, y permitió ir abandonando los supuestos principios teleológicos, Darwin (1859) pensaba que no era posible la aplicación de este tipo de estrategia para muchos procesos biológicos. En particular se refería a las explicaciones de fenómenos naturales como es la diversidad. Mecanismos como el de la selección natural exigen la explicación de cambios adaptativos, lo cual se relaciona con eventos causales de carácter histórico, que nos remiten a responder preguntas con elementos teleológicos. Es decir, había muchos aspectos que requerían de una perspectiva teleológica, lo cual indicaba que no era pertinente pensar que las explicaciones teleológicas pudieran abandonarse en la biología. Y ciertamente ese no era el problema, esto es, que la biología deba abandonar las explicaciones teleológicas, sino que lo que se requiere abandonar en sí es cualquier indicio o noción de diseño. El problema de la biología, en especial en la biología del desarrollo, es cómo explicar sin recurrir a la teleología un fenómeno que tiene direccionalidad y continuidad reproductiva, como la teoría de la evolución por selección natural. Además de ello, en biología, el aspecto histórico es un elemento importante cuando se trata de explicaciones, por lo cual vemos que difieren en un amplio rango con ciencias como la física, que se caracterizan por una correlación de datos de carácter predictivo. De esta manera las leyes físicas son deterministas, pues suponen que dado un cierto estado del mundo, las leyes de la naturaleza determinan lo que va a suceder en un futuro dado. No hay cabida para que se puedan dar explicaciones que no sean leyes o derivaciones de ellas.

Lo que hace Darwin precisamente es mostrar cómo la selección natural es capaz de rechazar la idea de que la evolución requiere de un diseñador. De esta manera la selección natural permitía eliminar las causas finales de nuestras explicaciones sin dejar de lado el hecho de que las explicaciones evolucionistas hacen referencia a la historia de un sistema y no es posible eliminar totalmente la noción de cómo el sistema llegó al estado en el que está, así, los elementos teleológicos siguen formando parte de las explicaciones en biología

abandonando toda noción de diseño y muestran que son diferentes del tipo de explicaciones que hay en ciencias como la física.

Ahora bien, la naturaleza de las explicaciones biológicas y el papel que juega en ellas la teleología constituye una discusión que, si bien ha sufrido profundas transformaciones conforme nuestro conocimiento científico se ha desarrollado, puede rastrearse en algunos de sus elementos hasta la discusión clásica del siglo XVII entre el mecanicismo y el vitalismo (García, 2002).

### **El mecanicismo y el vitalismo.**

La historia de la ciencia nos ha mostrado que las formas de explicar los distintos fenómenos que se presentan en la naturaleza han ido cambiando, siendo algunas de ellas sustituidas por otras, y de esta manera trata de lograr una explicación lo suficientemente completa del fenómeno en cuestión. A grandes rasgos, un patrón de explicación se refiere a las diferentes maneras de explicar científicamente los fenómenos de la naturaleza, que nos permiten entender la relación de la realidad externa con nuestras capacidades cognoscitivas y en cuyo contexto el mundo adquiere "objetividad". Cada patrón incorpora ciertas nociones interconectadas de causalidad y "la ley de la naturaleza", adopta una manera de concebir la relación del todo con las partes, y acepta ciertas reglas acerca del alcance y del tipo de inferencias que podemos hacer a partir de la experiencia. La ciencia del siglo XVII, y la "revolución científica" en particular, deben de verse como parte de un proceso mediante el cual se admite la importancia social del conocimiento tecnológico y la necesidad de una síntesis de los diferentes tipos de conocimiento (Martínez, 1997). La síntesis que tuvo lugar en el siglo XVII fue el resultado de una serie de cambios en la manera de cómo se evaluaba el conocimiento.

En Descartes existe una síntesis entre las matemáticas y la física que dan como resultado el surgimiento de un patrón de explicación basado en la búsqueda de mecanismos y leyes de aplicación universal. Descartes presenta numerosas explicaciones basadas en esta idea donde diferentes procesos fisiológicos como la actividad nerviosa y la respiración se

construyen a partir de la idea básica de la circulación sanguínea (pues pensaba que este último era un mecanismo integrador de las anteriores). Así comienza a pensar que las explicaciones pueden ser integradas en otro tipo de explicaciones de un nivel más general. Es decir, todos los procesos mecánicos pueden integrarse, basándose en las leyes básicas del movimiento, en un tipo de explicación más fundamental (Henry, 1997).

El pensamiento cartesiano se ha considerado un parteaguas en la historia de la filosofía precisamente porque fundamenta la distinción entre dos tipos de causas mediante una distinción entre dos tipos de sustancias: la materia y la mente. Para Descartes y muchos filósofos naturales de los siglos XVII y XVIII, las causas finales no están en la materia; en todo caso son impuestas desde fuera y, a fin de cuentas, provienen de la mente divina. Por lo tanto, estas causas no pueden ser objeto de explicaciones científicas. Esta actitud de rechazo a las leyes inmanentes como principio explicativo originó un abismo entre los diferentes tipos de causalidad, y en particular entre la causa eficiente y la causalidad final (Martínez, 1997).

La idea que se maneja en la filosofía mecanicista consiste en apoyar el estudio de un sistema con base en el movimiento de las partes, así es posible explicar las complejas funciones de dicho sistema; es decir, todo sistema se puede descomponer en sus elementos más sencillos y luego se procede a una reconstrucción del sistema mediante la explicación de sus partes por medio de mecanismos o causas eficientes.

Es claro que para dar cabida a una explicación no es suficiente hablar del “todo” y de las “partes”. Cuando hablamos de organismos (como el caso del ser humano), la explicación en sí misma del organismo va más allá que la simple idea de agregación, es decir, un organismo es algo más que las moléculas que lo componen, a pesar de que la masa de su cuerpo es simplemente la suma de todas sus moléculas. Sólo en un sentido de la agregatividad de las partes es posible hablar de un concepto de reduccionismo, pero esto no es cierto en el nivel bioquímico ni en otros niveles de organización. Ahora bien, en general podemos hablar de reduccionismo, en un sentido material, como el que observamos en el modelo clásico de la genética, donde las características fenotípicas de un organismo

son reducibles a las propiedades de los genes. Para este problema Aristóteles hizo una contribución de gran importancia, reconoció el valor de las explicaciones teleológicas (o por causas finales), en relación con los sistemas en los cuales las propiedades del todo no son agregativas de las propiedades de las partes. Pues consideraba que la naturaleza orgánica estaba formada por entes individuales o elementos, cada uno de tipo específico, con varios atributos y potencialidades, y que todo proceso consiste en la acción o interacción de estos elementos (Martínez, 1997).

La filosofía mecanicista tuvo mucho éxito en la explicación de numerosos fenómenos, dando como resultado el hecho de que se observaba al mundo como una analogía del funcionamiento de una gran máquina. Sin embargo, el poder explicativo de esta idea no superó todos los obstáculos, pues pronto surgieron fenómenos para los cuales la metáfora del mundo natural como máquina no lograría dar una elucidación completa. Claro ejemplo de ello son las características y funciones que exhibía el mundo vivo. Los fenómenos biológicos daban evidencia de la incapacidad de las ideas mecanicistas de dar una explicación completa a ellos, en especial se habla del problema del desarrollo biológico.

Como vemos, esta noción mecanicista del mundo no gobernaría la manera de dar explicación a todo. Como señalan Martínez y Barahona (1998; p. 42), *“una vez que el mismo Newton rechazó el mecanicismo de Descartes por considerar dogmática la pretensión de que todo puede explicarse por mecanismos, no fue difícil argumentar que los organismos vivos requieren de un principio explicativo más allá de las leyes que rigen a la física y a la química”*.

A partir del siglo XVIII la corriente de pensamiento vitalista comenzó a experimentar un crecimiento considerable, el estudio de los seres vivos se centró principalmente en esta estrategia o principio metodológico, así el pensamiento vitalista se puede interpretar como una “fuerza vital” distinta de los procesos fisicoquímicos del organismo. Cabe mencionar que esta idea influyó de manera importante en la manera de entender los fenómenos biológicos, además de que fue retomada por la filosofía de la

biología. Bajo este tipo de explicaciones se le daba una importancia preponderante al todo sobre las partes, claro está que hubo una conformación de varias vertientes, las cuales iban desde un vitalismo de propósitos, tomando en cuenta una perspectiva causal hasta a una creencia de una fuerza vital similar a la fuerza de gravedad de Newton.

Debe mencionarse que las ideas vitalistas históricamente han experimentado cambios que han acumulado distintos puntos de vista de acuerdo a los defensores de la misma idea vitalista. Sin embargo, es posible indicar que el vitalismo como ideología hace una especial referencia a la organización de los fenómenos biológicos tomando, por una parte, la prioridad del todo, y señalando por la otra la “irreductibilidad” a sus partes o a los movimientos de sus partículas y por ende a las leyes de la física y de la química, dando cabida a la incorporación de direccionalidad a los procesos (es decir, hay introducción de un *telos* o causa final). La idea vitalista, a pesar de que asumía la acción de fuerzas provenientes de la teoría de la física y la química, no reducía la organización biológica exclusivamente a estas leyes.

Esta discusión entre vitalismo y mecanicismo ha causado gran revuelo en la explicación de los fenómenos biológicos. Claramente vemos que a partir del surgimiento de la revolución científica del siglo XVII, el conocimiento de los procesos biológicos como análogos a la comprensión del funcionamiento de las máquinas tomó gran fuerza, y eventualmente el vitalismo tomaría el estandarte que permitiría las explicaciones teleológicas en biología. Sin embargo, y a pesar de las dificultades que ha presentado la metodología de explicación propuesta por Descartes (y con mucha razón por la escasa utilidad práctica que representaban las propuestas alternativas), en este trabajo se desarrolla la idea de que la metáfora del organismo-máquina es una estrategia metodológica que ha logrado abrirse camino hasta las prácticas biológicas de nuestros días. ¿Por qué es que esta forma de explicación ha podido sobrevivir hasta hoy en día? Para Lewontin (1998) el método analítico que aporta el mecanicismo para comprender y estudiar los sistemas biológicos está implícito en la misma palabra *organismo*, usada por primera vez en el siglo XVIII. La analogía se refiere pues a la analogía que existe entre el organismo y el órgano, el instrumento musical compuesto de partes separadas que trabajan juntas para producir un

resultado final. Así pues, en los últimos trescientos años, el modelo analítico alcanzó un éxito inmenso, porque *“explica la naturaleza de una manera tal que nos permite manipular y prever sus comportamientos”* (Lewontin, 1998; p. 85). La gran capacidad práctica y flexibilidad metodológica que representa su empleo, dentro de lo que podríamos denominar como los nuevos paradigmas biológicos, representa un gran alejamiento de la visión holística de los sistemas naturales como entidades que no pueden ser sujetas a divisiones en el afán de entenderlos analizando solamente sus partes. Es entonces el hecho de que *“los hombres de ciencia abordan el estudio de aquellos problemas que se adaptan a sus métodos”* (Lewontin, 1998; p. 85) lo que ha permitido que la ciencia, tal como la practicamos hoy, se apoye indiscutiblemente sobre el mismo modelo que les ha asegurado éxito. A pesar de que se ha discutido su empleo por ser una forma de explicación que no demuestra ser suficiente para los problemas que observamos en biología, las exigencias y el surgimiento de la nueva tecnología fundamentan su quehacer en una idea que proviene de la metáfora organismo-máquina de Descartes. En concreto me refiero a los nuevos proyectos que surgen a finales del siglo XX como lo es el Proyecto del Genoma Humano y los proyectos alternos que ven su nacimiento a partir de esta disciplina de la genética y lo que Watson y Crick mencionaban como el descubrimiento del secreto de la vida con el modelo del ADN.

El proceder de esta ciencia moderna ha centrado su atención en dos aspectos: el conocimiento y el poder. Sobre todo en el poder para controlar y dominar a la naturaleza, inclusive la naturaleza humana. Los genes han sido localizados, como se presume, no sólo *“para”* enfermedades como el cáncer de mama sino que también *“para”* la homosexualidad, el alcoholismo y la criminalidad. Así pues, esta simplificación del mundo implica una división del mundo en realidades mutuamente inconmensurables de causalidad entre el tipo de explicaciones genéticas y aquellas que reconocen la influencia del ambiente (Rose, 1997). Estas afirmaciones científicas parecen ser magnificadas por la prensa y los políticos, y los científicos discuten que sus afirmaciones han sido traducidas más allá de sus propias intenciones. Pese a ello, *“el fenómeno de la vida es simultánea e inexorablemente acerca de genes y ambiente, y el fenómeno de la existencia humana y la experiencia son*

*siempre y simultáneamente biológico y social. Las explicaciones adecuadas deben incluir ambas” (Lerner, 1992; p. 279).*

### **Reduccionismo y Determinismo.**

El enfoque de los estudios de la biología del desarrollo es el de la genética. Por medio de esta estrategia de investigación se pretenden encontrar las bases genéticas que permitan la explicación del desarrollo biológico, el desarrollo de los organismos. Es decir, se piensa que los nuevos estudios científicos que se basan en las técnicas moleculares podrán aportar los elementos causales responsables de los eventos ontogénicos de los organismos.

Los experimentos moleculares y el estudio del desarrollo a través de la genética pretenden, mediante esta forma de explicación, denominar a los genes como elementos causales, los cuales se dice que tienen la propiedad de predecir fenómenos biológicos. Esta noción se sitúa históricamente hacia los años veinte, y denomina al gen como una entidad estable con la agencia causal, cuando comienza en sí la búsqueda de los procesos causales que conectan a los genes y las características (Fox, 2000b).

Comúnmente se suele denominar a un suceso como genético asumiendo que el agente causal es un gen (o grupo de genes), y es precisamente esta manera de proceder la que le ha permitido definir a los procesos causales en términos de mecanismos, lo que a su vez le concede a los genes el poder de acción en cuanto se refiere al desarrollo de los organismos. Este tipo de nociones usualmente corresponde a perspectivas tales como reduccionismo y determinismo.

La noción de reduccionismo surge a partir de la concepción mecanicista defendida por Descartes en la primera mitad del siglo XVII, que constituye una búsqueda por la compatibilidad de explicación por mecanismos (el comportamiento de un objeto, en particular una máquina, está determinado por leyes mecánicas que actúan sobre sus partes, constituidas por materia inerte) y proviene como herencia de una larga serie de discusiones

que se encontraban orientadas a ejemplos más bien de la física que de la biología. El reduccionismo pretende sistematizar el conocimiento en formulaciones de carácter deductivo, donde unas teorías se encuentran incluidas o explicadas en otras de carácter más general.

En la primera mitad del siglo XX, la filosofía de la ciencia estuvo dominada por el positivismo lógico o neopositivismo, escuela que consideraba fundamental comprender la estructura lógica de las teorías, y que sostiene que el conocimiento científico se encuentra contenido exclusivamente en las teorías acabadas de la ciencia. Ahora bien, de acuerdo con Ernst Nagel y su modelo clásico de reducción teórica, de 1961, las teorías consisten en sistematizaciones de observaciones (leyes o regularidades) legitimadas gracias a procedimientos experimentales o de observación. Así, para Nagel una teoría B se reduce a una teoría A cuando lo que dice la primera es observable y puede deducirse lógicamente de la segunda. Es decir, se habla de una relación estructural explicativa (o por deducción lógica) en el que una teoría reduce o incorpora a otra teoría (Nagel, 1961).

El hecho de que una teoría pueda ser explicada por medio de otra implica que las explicaciones son nomológico-deductivas, es decir, que a partir de leyes generales se deducen casos particulares; y que existen relaciones de identidad entre los términos a los que se refiere cada una de las teorías, para lo cual Nagel (1961) propuso la formulación de leyes o principios puente que permitieran conectar los términos de ambas teorías. En el controvertido caso de la reducción de la genética mendeliana a la genética molecular, los *principios puente* deberían poder especificar, entre otras cosas, qué estructuras moleculares funcionan como los genes en el sentido mendeliano, y cómo reconocer la dominancia de un alelo sobre otro en el nivel molecular. Según Sterelny y Griffiths (1999) para este tipo de reducción siempre existía la posibilidad de comparar el vocabulario de dos teorías mediante la traducción de un lenguaje común de observaciones; pero las relaciones que se presentan entre la genética mendeliana y la genética molecular es de uno a muchos, es decir, muchos arreglos moleculares pueden corresponder a una sola categoría de la genética clásica. Así, vemos que no existe una correspondencia específica entre entidades tratadas independientemente en una teoría y en la otra, por lo que la formulación de principios

puente del modelo de reducción de Nagel era problemático. En este sentido se ha escrito mucho acerca de la reducción de la genética mendeliana a la genética molecular, sin embargo, la mayoría de los autores coinciden en que no se trata de una reducción al estilo que propone Nagel, sino que son dos formas complementarias de observar los procesos de la herencia (Hull y Ruse, 1998).

Posteriormente el trabajo de filósofos como David Hull (1974), Keneth Schaffner (1967) y William Wimsatt (1976) sería muy importante, pues en la década de los setentas demostraron que no era posible cumplir con todas las condiciones del modelo de Nagel; y debido a este tipo de argumentos el reduccionismo teórico parece no encontrar mucha aplicación en biología. Por lo que Stuart Kauffman (1971) y William Wimsatt (1976) desarrollaron modelos que tendrían mayor relevancia para resolver los problemas que se presentan en biología. Este tipo de nuevos modelos reconocen a los organismos como sistemas en los que las partes presentan interacciones sumamente complejas.

Existen muchas maneras por medio de las cuales el problema de la reducción puede ser formulado, al menos en biología. Una manera de hacerlo es formulando la siguiente pregunta: ¿Son las propiedades y los atributos de los seres vivos, su morfología, fisiología, comportamiento y ecología, totalmente dependientes de las partes fisicoquímicas de los cuales están compuestos?, o ¿Es la vida, o el complejo de propiedades y procesos que llamamos vida, “emergente” con respecto a la materia inorgánica? Otra forma de reformular el problema sería con preguntas como: ¿Los conceptos, leyes y teorías que han sido elaborados para niveles superiores de organización pueden explicar las teorías que fueron desarrolladas para niveles inferiores de organización (por ejemplo, el nivel de órganos, tejidos o células)? Mientras que las primeras preguntas se refieren a aspectos ontológicos del problema, esto es, los aspectos relacionados a preguntas sobre los conceptos, las ideas o sustancias sobre las que está definida la naturaleza (es decir, sus propiedades); las últimas nos hablan de problemas epistemológicos, de cómo nuestro conocimiento se encuentra formulado en teorías y la relación que existe entre ellas. Para la resolución de este problema Wimsatt (1976) propone un modelo más dinámico y realista del reduccionismo, un *reduccionismo explicativo*, según la clasificación de Sarkar, que se

encuentra más emparentado con la búsqueda de mecanismos que data del siglo XVII (Sarkar, 1992).

En esta nueva versión Wimsatt acepta la existencia del reduccionismo pero no en un sentido estricto, es decir, reconoce la posibilidad de obtención de nuevo conocimiento científico al paso del tiempo a través de una versión más realista y funcional que tiene que ver con la manera en la que nos aproximamos al mundo. Esto es, el reduccionismo de Wimsatt no se refiere a las relaciones entre las teorías, sino a las relaciones entre entidades de diferentes niveles de organización, y constituye una herramienta importante en la búsqueda de explicaciones que le permite al científico concebir a los organismos como sistemas.

Los niveles de organización de Wimsatt no suponen un orden total. Al contrario, nos hablan de un orden parcial en el que ocasionalmente los límites no parecen muy claros entre ellos. Wimsatt define a la noción de nivel como un orden parcial, de tal forma que en la base de la jerarquía encontramos a los que serían considerados como los bloques fundamentales de la naturaleza: partículas subatómicas, átomos, moléculas y macromoléculas y finalmente los dominios de la biología: organelos, células, tejidos, órganos, organismos, poblaciones, comunidades, ecosistemas y a la cabeza (al menos en lo que respecta al campo de la biología), la naturaleza como un todo: la biosfera. La idea de este orden parcial del mundo es que las entidades de los niveles superiores se encuentran compuestas por las entidades de los niveles inferiores (Wimsatt, 1976).

Funcionalmente hablando, el reduccionismo explicativo del que habla Wimsatt es congruente con una estrategia epistemológica reduccionista, dado que centra su atención en las entidades presentes en los diferentes niveles de organización, junto con una visión ontológica holista del mundo que concibe a los organismos como sistemas complejos dentro de la biosfera. Ciertamente esta noción puede llegar a tener alguna similitud con la

manera del proceder científico que menciona Kauffman (1971)<sup>1</sup> en el sentido de que las partes pueden ser informativas con relación al todo.

La reducción explicativa de Wimsatt se forma por dos tipos principales: 1) la reducción sucesional (intranivel), que incluye en ella una perspectiva histórica de la relación entre teorías en ciencia que nos puede conducir ulteriormente a un reemplazamiento entre teorías sucesivas competidoras. Ésta se desprende de una falla que posee la sucesión cuando no es capaz de encontrar las similitudes y diferencias que pueda haber entre las teorías competidoras. 2) la reducción de internivel, que es la que Wimsatt señala como el tipo de sucesión a la que se refieren los científicos, donde un nivel de organización es explicado a través de otro nivel.

Wimsatt propone que la estructura en niveles que presenta el mundo nos permite encontrar explicaciones a un nivel de organización determinado cuando se encuentran relaciones causales entre las entidades de los diferentes niveles. El elemento clave de la distinción por niveles que hace Wimsatt es que los niveles inferiores son diferentes de aquellos superiores pues representan los estados más básicos de la materia y los principios generales más aplicables, como las leyes físicas presentes en las partículas atómicas; esto es, los niveles inferiores representan las propiedades físicas y químicas más básicas. Mientras que los niveles superiores los constituyen estados más complejos de la materia. Así, a cada nivel se establecen nuevas interacciones y aparecen nuevas relaciones entre las partes que componen al sistema (relaciones que no se pueden inferir de la mera descomposición del todo en sus partes). El reduccionismo explicativo de Wimsatt prevé el hecho de que hay diferentes explicaciones que pueden formularse a partir de diferentes niveles de organización. Esto nos hace notar una realidad filosófica importante, para poder comprender una pieza de la maquinaria, es necesario conocer no sólo su composición sino también el papel que juega en el gran sistema del cual forma parte.

---

<sup>1</sup> Kauffman dice que “una explicación exitosa de articulación por partes...no solamente da cuenta del comportamiento del todo, sino que ofrece una perspectiva de qué deberá verse que hacen las partes mismas...”. Ver Martínez y Barahona. (eds).1998. Filosofía y explicación en biología . Pp 42-60.

Para Rose (1997; p. 95) *“nuestro mundo puede ser una unidad ontológica, pero para comprenderla necesitamos la diversidad epistemológica que los diferentes niveles de explicación nos ofrecen”*. El reduccionismo explicativo no consiste en encontrar leyes. El reduccionismo trata de una búsqueda de explicaciones que integren en sí mismas a otras, es decir, explicaciones parciales que se encuentran interrelacionadas causalmente y que necesitan unas de otras para dar una explicación adecuada de la totalidad de un sistema dado. Las relaciones de teorías como la que existe entre la genética mendeliana y la genética molecular se refieren más que nada a un refinamiento del conocimiento, o también como una extensión del mismo, en vez de considerarse como una reducción.

De esta manera podemos observar que la herramienta explicativa que representa la noción del reduccionismo nos dice que puede haber explicaciones alternativas que pueden ser planteadas desde los diversos niveles de organización que nos menciona Wimsatt. Esto significa que el hecho de que puede existir un reduccionismo explicativo no necesariamente supone un determinismo genético, como es el caso para el problema del desarrollo de los organismos y las modalidades de explicaciones por tratamientos genéticos. En un universo en el que el reduccionismo es una buena estrategia, las propiedades de las entidades del nivel superior son explicadas mejor en términos de las propiedades e interrelaciones de las entidades del nivel inferior (Wimsatt, 1980). Es por ello que la mayoría de los científicos emplean estrategias reduccionistas como su forma de hacer investigación. Sin embargo, no hay motivo por el cual debamos de remitirnos única y exclusivamente al nivel de explicación genético cuando se trata del desarrollo biológico.

Por su parte, el determinismo genético supone como tesis general que los genes son las entidades o agentes causales únicos o fundamentales de los procesos biológicos, y que es sólo a la luz de éstos que las explicaciones en biología tienen sentido. Es decir, los fenómenos biológicos que observamos en los diferentes organismos son producto de la acción directa de los genes, que van desde rasgos físicos hasta el comportamiento, los cuales contienen la información que explica en sí misma la existencia de dicho fenómeno. Así, todos los niveles de organización superiores se encuentran explicados por este nivel en el que se ubica a los genes. En las palabras de Watson: *“Acostumbrábamos pensar que*

*nuestro destino estaba en las estrellas. Ahora sabemos que, en buena medida, nuestro destino está en nuestros genes*” (Watson, 1989; p. 310).

Por otro lado, personajes como Lewontin han expresado su postura frente a la idea del determinismo genético de la siguiente manera: *“el problema del esquema explicativo general contenido en la metáfora del desarrollo consiste en que se trata de mala biología. Si tuviéramos la secuencia completa de ADN de un organismo y una posibilidad ilimitada de elaboración, de cualquier manera no podríamos elaborar ese organismo, porque un organismo no se elabora con sus propios genes”* (Lewontin, 1998; p. 23). El determinismo genético es pues uno de los sesgos más peligrosos introducidos por el uso de estrategias reduccionistas en las investigaciones científicas que confunden el significado de reduccionismo y determinismo. Ridley (2003; p. 113) reconoce acerca del empleo de estrategias reduccionistas en biología que: *“cualquier genetista que diga que ha descubierto un influencia a favor de los genes y que por consiguiente el ambiente no desempeña papel alguno, está diciendo tonterías. Y cualquier defensor del entorno que diga que ha descubierto un factor ambiental, y que por lo tanto los genes no tienen ningún papel, está diciendo tonterías igualmente”*.

Debemos entender que la noción del determinismo genético no permite el reconocimiento de otros aspectos adicionales que no sean los genes, es decir, supone a los genes como únicos agentes causales. El reduccionismo, por su parte, permite el empleo de diferentes entidades como elementos causales para la explicación de procesos y fenómenos. En ésta última le da la relevancia que merecen todo los niveles de organización que componen al mundo; el error se encuentra pues en el empleo de estrategias reduccionistas, generalmente relativas al fenómeno del desarrollo, que con frecuencia suponen un determinismo genético. Esta constante búsqueda por explicaciones reduccionistas puede conducirnos a sesgos como es el del determinismo genético, por lo cual su empleo como herramienta explicativa debe de ser llevado a cabo con precaución de no confundir ambos conceptos.

Desde el nacimiento de la ciencia moderna, el reduccionismo metodológico ha probado ser una herramienta poderosa y efectiva para poder manipular el mundo. Y debemos esta forma metodológica a los más penetrantes pensamientos mecanicistas en cada área de la ciencia, incluyendo a la biología. Pero, especialmente en biología, la complejidad y la dinámica de los sistemas, en vez de sistemas cerrados, son la norma más que la excepción, y la metodología reduccionista (aunque ha demostrado ser poderosa) tiene dificultades cuando se enfrenta a problemas complejos (Rose, 1997). Esta forma de pensamiento ha dejado marca no sólo en las estrategias de investigación de los diferentes científicos, sino que ha tenido impacto en la esfera política y social fomentando concepciones racistas y sexistas del ser humano. Así, la ideología reduccionista ha servido para relocalizar los problemas sociales en los individuos, esto es, “culpando” a la víctima en vez de hacer una indagación en las raíces sociales de los fenómenos. La violencia en la sociedad moderna no se explica en nuestros días como resultado de desempleo, desigualdades en la distribución de la riqueza, etc. En vez de ello, la violencia se explica como un fenómeno que resulta de la presencia de individuos violentos, siendo violentos por efecto de desórdenes bioquímicos o de constitución genética (Rose, 1997). Este tipo de explicaciones reduccionistas, y en última instancia, deterministas, se deben a la gran y urgente presión de encontrar explicaciones que demanda la escala social en las sociedades industriales avanzadas hacia finales del siglo XX, sacando de contexto las realidades políticas y transfiriendo la responsabilidad a los individuos.

Hacia el inicio del siglo XX, el concepto del determinismo genético era empleado como pretexto que justificaba la estructura de la sociedad y denominaba a las personas como meros productos de la naturaleza sin capacidad de cambio en su condición, dado que los rasgos biológicos (en cuanto a sus genes se refiere) denotaban su comportamiento y el lugar que ocupaba en la escala social; de esta manera las desigualdades de riqueza, poder y *status* eran justificadas y la construcción de una sociedad con el potencial creativo de todos sus ciudadanos no podía representar ningún obstáculo para el desarrollo de los mismos.

En las últimas décadas se ha hablado mucho acerca de los genes, sin embargo, debemos tener en claro la falsedad de un determinismo genético. Como veremos más

adelante, no es que el nivel de organización que contiene a los genes no pueda ser capaz de aportarnos información para predecir el desarrollo de los organismos, sino que no es solamente a través de esta vía que podemos inferir algunos aspectos de los mismos. Es necesario recordar que tanto los genes como el ambiente son elementos no triviales e indispensables que deben de tomarse en consideración en torno al desarrollo biológico de los organismos. No obstante, con frecuencia muchas personas se refieren a los genes *de* los rasgos fenotípicos: los genes del daltonismo, los genes de la agresión e inclusive los genes de la homosexualidad (Rose, 1997).

Sin embargo, hay un impedimento por el cual los genetistas moleculares solos no podrán librarse. La conducta humana esta sujeta a todo tipo de procesos que no sabemos cómo describir a nivel molecular; por los sentimientos que acompañan a experiencias específicas, las palabras pronunciadas, etc. Con una ignorancia abismal de las capacidades básicas que sustentan nuestro desarrollo cognoscitivo y emocional, no podemos tener ideas firmes con respecto a qué tipo de cambios del entorno serían importantes (Kitcher, 2002).

Durante parte del siglo XX, el determinismo genético alcanzó su apogeo, concretamente en la década de los 1950's, en el periodo que siguió a las atrocidades nazis, pero se afianzó mucho antes en algunos rincones de la indagación filosófica (Ridley, 2003). El determinismo genético estuvo íntimamente ligado a la discusión registrada en psicología, antropología y otras ciencias sociales acerca de cómo los rasgos biológicos de una persona determinaban su comportamiento social, o si por el contrario éste se debía a influencias de tipo cultural o social (Suárez, 2005). Esto es, cuando la ideología del determinismo genético se vió extendida en la realidad social, constituyó la plataforma para una política filosófica que demandaba un *status quo* como una necesidad moral de la sociedad. Más aún, los defensores de dicha plataforma política apelaban a “evidencia científica” para respaldar su causa. La doctrina del determinismo genético les ofrecía una base científica que justificaba el establecimiento de una jerarquía social acorde a los principios de una biología determinista (Lerner, 1992).

Para los seguidores de esta idea determinista, el fin era claro: debido a que los seres humanos habían alterado el curso de la selección natural a través de programas sociales mal orientados, un nuevo orden tenía que establecerse, que pusiera a la sociedad en el “camino correcto”, el camino que preservaría los mejores genes de las mejores razas y eliminaría a los débiles y los peores genes. Según Lerner (1992; p. 16) *“la misma línea histórica del determinismo genético se ha repetido en varias ocasiones, al menos parcialmente, inclusive en nuestra historia reciente: las campañas militares estadounidenses en contra de los indios, el maltrato de los afro-americanos por parte de los euro-americanos en los Estados Unidos así como el surgimiento del Fuerte Nacional fascista en la Gran Bretaña y el Holocausto que protagonizó el partido Nacional Socialista en Alemania de 1933 a 1945”*.

### **Determinismo y programa genético.**

Para autores como Fox Keller (2000a), en la actualidad no contamos con una teoría lo suficientemente satisfactoria del desarrollo en biología que nos ayude a dilucidar el surgimiento del fenotipo a partir del genotipo. Sin embargo, muchos biólogos del desarrollo, e inclusive algunos genetistas (ya sea del campo de la biología molecular o de la genética de poblaciones) usualmente tienden a afirmar el hecho de que el problema de una teoría del desarrollo en biología se encuentra resuelto en el genoma. En las últimas décadas esta noción ha tenido un alcance tan grande, que ha llegado a la mayoría de las ramas de la biología y que se ha transformado en la manera fundamental de explicar el desarrollo biológico.

Este debate acerca del “programa genético” contenido en el genoma, como un concepto que explica el desarrollo biológico nos deja ver cómo el gen se ha convertido a lo largo del tiempo en un icono de nuestra época. Se habla de la unidad fundamental de explicación absoluta, que nos da la posibilidad de poder manejar el destino de los seres humanos una vez que comprendamos las leyes bajo las cuales actúa. El gen se ha convertido, según Falk (1999), en la entidad final de la naturaleza que trae consigo el respaldo de la ingeniería genética. Sin embargo, esta noción de pensamiento no es nueva.

La metáfora de *programa*, fue extraída directamente de las ciencias computacionales, y entró en la literatura biológica hacia la década de 1960 (Fox, 2000a). En su primera introducción, realizada de manera simultánea por Mayr (1961), y por Monod- Jacob (1961); la identidad del programa era dirigida específicamente al genoma. Sin embargo, en el transcurso de la década la idea de programa fue retomada en la explicación del desarrollo ontogénico, por lo que muchos biólogos del desarrollo intentaron emplear algunas ideas provenientes del campo de la cibernética para explicar el desarrollo, y tratar de determinar en dónde se encontraba el programa (Apter, 1966). En los inicios de la década de los 1960's el debate se subdividió, por una parte, el campo de la embriología había experimentado grandes avances en las décadas de 1940's y 1950's. Y por el otro lado, la genética se encontraba exitosa ya que la presentación del modelo del ADN consolidaba su triunfo. Ya hacia finales de la década de los 1970's la noción del programa del desarrollo había caído en lo que se conoce como el “programa genético”.

Durante este periodo, se creía que el material genético no era más que información codificada que requería ser procesada por un programa celular. Este programa podía ser uno que se encontrara en la maquinaria de la transcripción y en la traducción, o que inclusive pudiera residir en el núcleo. Así, ciertas diferencias genéticas causaban o daban explicación de determinado fenotipo y esa diferencia era considerada como una característica de la población. Este criterio para darle una causa formal al desarrollo de los organismos se encuentra en función de diferentes intereses que a su vez son función de distintas perspectivas disciplinarias; de esta manera los genes se convierten en los elementos fundamentales por excelencia y agentes causales del desarrollo de los organismos.

El hecho de que se hable de las causas del desarrollo biológico en términos de un programa genético deja de lado al aspecto del entorno. Es decir, cualquier otro tipo de influencia externa queda inmediatamente fuera del contexto de explicación, ya que los genes toman el adjetivo de ser destino e inevitables y llevan consigo un mensaje fatalista. Son los encargados de dar continuidad a los sistemas vivos a pesar de las calamidades ambientales, y son capaces de proveer variabilidad ontogénica.

Sin embargo, el desarrollo biológico no es puramente una consecuencia del supuesto programa contenido en los genes; también incluye toda una red compleja de interacciones entre componentes no solamente incluidos en el ADN, sino de toda la maquinaria celular que se encuentra fabricada de diversas proteínas y moléculas de RNA. Esto es, la información contenida en el material genético es necesaria para el funcionamiento de toda la cadena de reacciones que sigue al desarrollo de un organismo, pero no es la única que toma parte; el proceso del desarrollo resulta entonces de la activación espacio-temporal de ciertos genes, que a su vez, dependen de una compleja red de componentes (además del material genético) que interactúan y que se encuentran interconectados por la maquinaria celular, así: *“los elementos de las diversas estructuras son arregladas por la memoria genética, y éstas son ensambladas por la memoria celular”* (Fox, 2000a; p. 161). Así, vemos que no solo heredamos genes hechos de ADN, sino también una intrincada *“maquinaria celular”* elaborada de proteínas (Lewontin, R. 1992a).

### **Las partículas de la herencia.**

Hacia 1909 Willhem Johannsen introduce los conceptos de *fenotipo* y de *genotipo*, específicamente para explicar los mecanismos mediante los cuales se da la transmisión de características de una generación a la siguiente, o lo que también conocemos como herencia. Sin embargo, no es sino hasta 1911 que establece: *“No todas las características personales de un organismo causan (o son la causa) de las características del embrión; pero las características de ambos, el ancestro y el descendiente, son determinadas por la naturaleza de las ‘sustancias sexuales’ (gametos) de las cuales se han desarrollado. Las características personales son entonces las reacciones de los gametos... pero la naturaleza de los gametos no está determinada por las características personales de los padres o del ancestro en cuestión”* (Johannsen, 1911; p. 132).

Ahora bien, es gracias al redescubrimiento de las leyes de Mendel que el argumento que apoyaba la existencia de las partículas de la herencia toma fuerza. Finalmente, Johannsen propone el término *gen* como una manera de equiparar al genotipo (y eventualmente diferenciarlo del fenotipo), lo que permitió descansar el conocimiento

científico en las partículas que debían ser las responsables de los caracteres mendelianos (Beurton, *et. al.* 2000). De esta manera se veía una continuidad con los elementos de la herencia que previamente habían sido mencionados (las gémulas de Darwin y los pangenes que menciona de Vries, por ejemplo). A pesar de ello, Johannsen y un gran número de embriólogos concebían a los genes en términos de ser un potencial holístico hereditario, que de alguna manera conservaba la totalidad del organismo como un sistema. Sin embargo, la idea de que en algún sentido todas las características se mantenían contenidas en unas partículas determinadas fue ganando terreno dentro de la comunidad científica. Para T. H. Morgan la manera en la que Johannsen postula la idea del genotipo y el fenotipo constituyen su base de trabajo para avocarse al estudio de estas partículas, concibiéndolas como entidades directamente relacionadas con el desarrollo (Allen, 1979; Churchill, 1974).

La connotación que se tenía en sus inicios acerca del concepto de gen era de una entidad instrumental para la experimentación en biología del desarrollo; se pensaba como la unidad que capturaba en sí misma los resultados de pruebas como la hibridización. En el campo de la genética de poblaciones los diversos cálculos matemáticos realizados especialmente por R. A. Fisher (1930) hicieron posible determinar que los genes, dentro de una población con posibilidades de reproducción de una especie determinada, se podían dispersar a lo largo de ésta en un periodo de tiempo relativamente muy corto. Esto dio cabida al surgimiento de una nueva visión del proceso evolutivo, donde el mecanismo podía bien ser reducido a la acumulación selectiva de los genes contenidos en los individuos de una población, que de manera independiente le añadían un incremento evolutivo a la especie. Eventualmente, la evolución quedaba definida como el cambio en las frecuencias alélicas o genotípicas de la población, y los fenotipos fueron privados de cualquier carácter causal en todo el proceso.

Se pensaba que la realidad instrumental de los genes podría convertirse eventualmente en una verdad material; y no fue sino hasta 1953 con “*las implicaciones genéticas de la estructura del ácido desoxirribonucleico*”, como fue el título del artículo publicado por Watson y Crick (1953), que el gen adquirió un nivel de dominancia superior. Pronto quedó sin resolver la problemática de las interacciones de los genes con los factores

ambientales en los procesos del desarrollo, la diferenciación de los organismos y con relación al resto del sistema. Por lo que el gen es tratado a partir de entonces como una entidad discreta en vez de seguir siendo considerado como un concepto teórico abstracto.

A pesar de lo anterior Morgan discutía que la naturaleza de los genes no era en sí misma de suma relevancia, sino que para propósitos prácticos era necesario concentrarse en que eran elementos clave que aportaban *información* para la conformación del fenotipo, siempre y cuando el concepto de genotipo permaneciera separado del fenotipo. Es decir, se advierte esta condición con la tarea última de no caer en una explicación reduccionista que fuera llevada al extremo de ser determinista. Sin embargo, Herman J. Müller no coincidía con el acercamiento de Morgan, ya que consideraba a los genes como la interpretación reduccionista de los resultados experimentales, siendo los genes los *átomos* del desarrollo y de las diversas funciones metabólicas, por lo cual postulaba que: *“la contribución fundamental que la genética ha hecho a la fisiología celular... consiste en la demostración de que... existen dentro de la célula miles de sustancias (los genes); estos genes existen como partículas microscópicas”* (Müller, 1922, p. 35).

Eventualmente Müller se embarcaría en la tarea de determinar cuáles eran las propiedades fisicoquímicas que caracterizaban a los genes, todo esto con la finalidad de confirmar el nivel de importancia estructural y de desarrollo que significaba la existencia real de los mismos. De esta manera se lograba que el estudio de los genes, como los “átomos de la herencia” y la materialización de los mismos abriera las puertas a una serie de investigaciones que se encaminarían a descubrir el papel funcional de los genes (Beadle y Tatum, 1941). Pronto, esta tendencia de estudio llevaría a la doctrina que hoy en día se conoce como “un gen-una proteína”. Así, a finales de la década de 1930, el concepto de los genes como unidades materiales reales se había reforzado y casi no encontraba oposición en el ámbito científico. Watson y Crick inclusive en sus primeras publicaciones le darían a Müller el crédito de imputarle las propiedades de las que hablaba sobre los genes a su modelo: *“Muchas líneas de evidencia indican que (el ADN) es el portador de una parte (si no es que de toda) la especificidad genética de los cromosomas, y por lo tanto, de los genes en sí mismos”* (Watson y Crick, 1953; p. 964). Este suceso representaría la reducción de los

aspectos de mayor interés de la *vida* en una sola molécula, el ADN, y a los elementos constitutivos de la misma: los genes. Esto significaría un éxito del reduccionismo en las ciencias de la vida, un reduccionismo radical o duro que terminaría en desembocar en un determinismo genético.

Con este suceso da comienzo una etapa de investigación que abogaba en gran parte por encontrar los fragmentos que correspondían a los genes, que ahora eran reconocidos por encontrarse dentro de los cromosomas, siendo estas unidades las entidades capaces de autorreplicación y ser los elementos codificadores para las secuencias de los aminoácidos.

Sin embargo, los esfuerzos por tratar de encontrar los fragmentos que correspondían a los genes entre las bacterias y los virus fallaron debido a que se encontró que en estos organismos había una molécula continua de ADN que se replica como una unidad. Así los indicadores estructurales que delimitaran una función de otra y la distinción entre genes resultaba sin sentido. Por lo que el gen como “átomo de la herencia” perdía un poco de su significado. De esta manera, las propiedades que en un principio se le adjudicaban en su totalidad a los genes (replicación, recombinación, mutación y herencia) se transfirieron al ADN en sí mismo, por lo que el gen solamente permaneció como una unidad estructural.

A partir de este momento naturalistas como Mayr (1954) y Dobzhansky (1955) cesan con la tradición de creer que los genes poseen valores intrínsecos rígidos; estos evolucionistas consideraban que los genes debían sus propiedades a la interacción entre muchos otros genes además de la interacción con genes de otros individuos. Este tipo de pensamiento permitía dar el primer paso a la comprensión de las interacciones entre genes como parte de un sistema complejo. De esta manera el gen pasa de ser el protagonista principal a ser sólo un eslabón estructural, que representa el producto principal de ADN como una secuencia. A pesar de ello, no se restó importancia al papel del gen, de hecho, se inicia un proceso de estudio en el que los genetistas tratan de describir los mecanismos de regulación de los genes. El modelo del *Operón* que es expuesto hacia la década de los 1960's trata de explicar la regulación de expresión de los genes. Presentado por Britten y Davidson en 1969 *Gene regulation of higher cells: A theory* sugiere que el control de la

expresión de los genes se encuentra representado por una red de interacciones entre ellos mismos. Este modelo permitía mantener la regulación al nivel de los genes donde se reconocen puntos específicos en ciertas secuencias para el inicio de la transcripción de genes, así como secuencias de lectura para los tripletes de nucleótidos y secuencias para parar la transcripción.

Los posteriores avances en el campo de la biología molecular permitieron la implementación de nuevas técnicas de estudio, tal es el caso de la introducción de la electroforesis (Lewontin, 1991) para los análisis de laboratorio. Este tipo de técnicas permitían hacer un análisis más elaborado y detallado de las diversas moléculas biológicas. Un ejemplo claro es el empleo de dicha técnica para la detección del polimorfismo en proteínas presentes en una población. De esta manera el estudio reduccionista que se estaba presentando estaba siendo criticado por una vertiente más abierta, es decir, se estaba experimentado una transformación hacia una visión de carácter holista. Esto desataría de alguna forma el estudio de los porqués, más allá que de los simples cómo, que caracterizaban a la visión reduccionista del estudio de la genética. Así, se tomó con mayor aplomo el estudio de los procesos de desarrollo biológico con mucha mayor consideración del aspecto evolutivo, lo que eventualmente reviviría el concepto y la importancia que había perdido el gen.

Gran parte de los éxitos que ha experimentado el campo de la biología molecular se deben a las explicaciones reduccionistas que se iban generando por la rápida introducción del concepto gen; de igual forma, la descripción de los mecanismos de transmisión así como la regulación de la expresión génica han sido considerados como sinónimo de triunfo de lo que es denominado el “programa genético”. Sin embargo, Jacob (1977), que veía la creciente idea del “programa” que se le estaba adjudicando a los genes, señala que es importante que la idea reduccionista del programa genético debía integrar en su tesis una visión con otro tipo de elementos que de igual forma tienen relación esencial en los procesos del desarrollo y la herencia. En este sentido, Jacob se refiere a elementos celulares y extracelulares que igualmente guardan relación en la regulación de la expresión de los genes.

Por su parte, Lewontin (1992b) indica de manera similar la importancia de factores más allá del propio material genético. Para él, el desarrollo de los organismos es el resultado de una activación de genes (siendo esta activación de manera selectiva espacio-temporalmente hablando), la que a su vez depende de una compleja red en la cual interactúan todos los componentes celulares, además del ADN, así como una densa maquinaria interconectada de proteínas y demás moléculas. Asimismo, afirma que el material genético contiene el “plano”, pero que no hay manera de que alguna tarea en especial se lleve a cabo sin la maquinaria celular que está contenida en toda la serie de estructuras celulares. De esta manera nos podemos percatar de que el genoma va adquiriendo el papel de ser una entidad proveedora de información más allá de significar ser un programa como tal.

Atlan y Koper (1990) consideran que el material genético en el núcleo de nuestras células debe ser comprendido como información, más allá de ser tratado como un programa. No es solamente el material genético la única fuente de información para los diferentes procesos del desarrollo de los organismos, igualmente los organelos embebidos en el citoplasma y demás elementos celulares son relevantes y elementos no triviales. Es decir, elementos como estos son igualmente heredados y forman parte de una maquinaria celular completa, pese a las previas ideas de la no presencia de elementos activos en el interior del citoplasma. Es esta clase de hechos los que han sido olvidados por los genetistas, los cuales van moldeando la lógica de su pensamiento bajo ideas que no son del todo correctas. Son el conjunto de ideas mecanicistas las que moldean el pensamiento determinista y reduccionista de los científicos que se resguarda en el concepto de gen. En contraposición a esto Griesemer y Wimsatt (Griesemer y Wimsatt, 1989) postulan que los procesos, en vez de las estructuras o las funciones, son los que deberían ser considerados como las entidades de la biología. Igualmente se ejemplifica la importancia de centrar nuestra atención en los procesos biológicos más que en las estructuras cuando Brenner nos dice (acerca de la regulación de los genes por medio de genes operadores): “*el paradigma no nos dice como hacer un ratón, sino solamente como hacer un switch*” (Brenner, *et. al.* 1990). Claro está que el problema no solamente se encuentra en centrar el hecho de que los genes no son los únicos jueces en el desarrollo de los organismos, sino que los elementos

adicionales que existen también tiene un rol esencial en dicho proceso y que constituyen una fuerza evolutiva de la misma magnitud que las secuencias de ADN, es decir, todos los niveles contribuyen para el surgimiento de un fenotipo específico. Lewontin nos dice que: *“el fenotipo de un organismo es la clase mediante la cual las características físicas observables de un organismo, incluyendo morfología, fisiología y comportamiento son consideradas a todos los niveles de descripción. El genotipo de un organismo es la clase mediante la cual sus características son postuladas por factores hereditarios internos, los genes”* (Lewontin, 1992c; p. 137).

La doctrina del determinismo genético, como herencia del mecanicismo cartesiano del siglo XVII, es una doctrina pesimista y potencialmente puede convertirse en un fenómeno socialmente pernicioso. Es pesimista con respecto a que niega la posibilidad de que el ambiente físico o social puede cambiar o alterar la calidad de vida humana, solucionar problemas sociales o inclusive liberar a las personas de las barreras del comportamiento, pues sólo centra su atención en las partículas de la herencia: los genes.

Las implicaciones sociales de este tipo de concepción y visión del mundo puede tener repercusiones en las vidas de millones de seres humanos. Cuando una doctrina de pensamiento es científicamente errada, el pesimismo que conlleva y las políticas negativas que implica derivadas de ella, no pueden ser justificadas. Pienso que la concepción determinista del mundo simplifica los procesos biológicos, y a pesar de que el empleo de estrategias reduccionista no implican de ninguna manera determinismo genético, considero que han favorecido una malinterpretación de fenómenos como el del desarrollo de los organismos y la herencia. Proyectos como el PGH basan su discurso en una idea errada del desarrollo de los seres vivos, y consecuentemente nuestra visión de ver el mundo se ve alterada. En el siguiente capítulo se analizará el concepto de gen y se hará una explicación acerca de la relación de éste con la naturaleza, mostrando la estrecha relación que existe entre ambos, a diferencia de los principios que sostiene la idea del determinismo genético. Asimismo, se analizarán los procesos que intervienen en el desarrollo de los organismos, contraponiendo el determinismo genético, con la realidad que muestran las dinámicas entre los genes y el ambiente.

## Capítulo 2

### Los Genes y la Naturaleza

#### **El concepto de gen.**

La historia conceptual del gen nos muestra numerosas facetas que dejan ver lo conflictivo y controvertido que resulta definirlo. En primera instancia vemos que desde la propuesta misma del concepto en 1909 por Johannsen se le consideraba, dentro de una ideología holista, como un elemento de potencial hereditario que rápidamente fue ganando popularidad y captó la atención de la comunidad científica. El posterior descubrimiento del ADN como la sustancia de la herencia (Avery, *et. al.* 1944), y finalmente el descubrimiento de la estructura de doble hélice del ADN por Watson y Crick en 1953 llevó, al cabo de cierto tiempo, la idea de éxito de la reducción de los aspectos fundamentales de la vida a una sola sustancia química: el ADN, que confirmaba los avances de la genética molecular situándola en la punta del iceberg. Evidentemente, el gen experimentó de igual manera ser el centro de estudio y el elemento clave que constituía a la molécula de la herencia siendo de esta manera la unidad de la vida por excelencia; por lo que un sinnúmero de genetistas tomaban como logro este reduccionismo en las ciencias de la vida.

El rol causal que eventualmente adquiere el gen desliga al fenotipo del genotipo y deja al primero enclaustrado, relevado y menospreciado, dejando al segundo en la primera plana de investigación debido al constante ascenso que estaba experimentando la genética molecular de ese tiempo. Cabe mencionar que personajes tales como Richard Dawkins (1976) en su obra *The Selfish Gene* vendrían a aportar un elemento adicional a la idea de los genes como maestros y elementos principales del proceso evolutivo, planteando primordialmente que los genes se reproducen a favor de un “interés” propio, donde los organismos funcionan meramente como vehículos y máquinas de supervivencia. Los efectos fenotípicos que estos genes son capaces de producir solo eran explicados sobre la lógica de que proporcionaba las características necesarias para que los mismos pudieran propagarse en una población determinada. La razón por la cual existen los fenotipos se argumenta que se debe a que le “sirven” a los genes para la competencia por la

supervivencia, a pesar de ello, en términos evolutivos no tienen gran relevancia según esta idea.

El argumento que se presenta hacia la década de los 1940's en la esfera de la genética de poblaciones igualmente le abre la puerta a los genes, apoyando la idea de reducción y explicación del proceso evolutivo en función de las frecuencias genotípicas acumuladas por medio de la selección natural. Esto es, las frecuencias de aparición de determinados genes nos daban la información y las herramientas suficientes para poder describir cómo en realidad funcionaba el proceso evolutivo. Sin embargo, hacia la segunda mitad de la década de los 1970's con los nuevos avances en el campo de la genética molecular una serie de nuevos descubrimientos acerca de la naturaleza de los genes se asomarían a esta nueva tendencia concentrada en su estudio, y comenzarían a ponerse en duda muchas de las afirmaciones que se consideraban hasta ese momento como verdades confirmadas.

En lugar de que los genes conformen un segmento continuo de ADN, un gen más bien consiste en un mosaico de regiones codificantes y no codificantes, denominadas *exones* e *intrones*, respectivamente (Gilbert, 1978). Así, estos “genes en piezas” parecen ser más que nada la regla que la excepción, por lo que no es precisamente un requisito la idea de que los genes sean entidades físicas ya que es posible argumentar que las regiones no codificantes no deben de ser consideradas dentro lo que constituye la estructura del gen, más bien es posible decir que los genes existen a lo largo de las hebras de ADN. Sin demorar tanto el descubrimiento más dramático, cerca de finales de la década de los 1970's, sería el fenómeno de *splicing* que experimentan los genes, que consiste principalmente en armar, como un rompecabezas, los fragmentos necesarios por medio de distintos exones para poner en funcionamiento la maquinaria celular y poder producir de esta manera las proteínas y moléculas requeridas en determinados momentos del desarrollo. Es decir, a lo largo de la doble hélice del ADN existe un traslape de regiones que permite el desarrollo de nuevas secuencias de genes que propician la creación de moléculas que no podrían ser fabricadas de otra manera. Lo cual nos informa que no existe una correspondencia al 100% de uno a uno en cuanto a genes y su producto. La expresión de los genes (la producción

eventual de la proteína codificada) resulta ser un proceso sumamente complicado. Depende de secuencias de ADN reguladoras especiales que pueden encontrarse delante (5') o detrás (3') de la región del gen (interrumpido), dentro de los propios intrones. Estas secuencias interactúan con una multitud de proteínas reguladoras, o factores de transcripción, codificados por otros genes dispersos a través del genoma (en otros cromosomas). Cada uno de estos genes muy probablemente poseerá una estructura génica similar a la que regulan, y requiere otros factores de transcripción para su regulación. Cada factor de transcripción reconoce una secuencia corta especial, dentro de la o las regiones reguladoras. La transcripción no puede iniciarse hasta que el *complejo de transcripción*, se liga a alguna de las regiones reguladoras, el *promotor*, que marca el sitio inicial de la transcripción.

Además de ello, vale la pena mencionar que la presencia de las “secuencias accesorias” para el procesamiento de los genes (Carlson, 1991), es decir, elementos tales como: operadores, promotores, reguladores, etc., ponen en tela de juicio la definición de gen, ya que estos elementos adicionales a las secuencias codificantes y no codificantes no son elementos exclusivos para cada gen. Existen grupos de operadores y promotores que pueden ser comunes a muchos grupos de genes pero no a todos, así pues se pone en duda qué elementos son realmente los que constituyen a un gen. El concepto de gen comienza entonces a desintegrarse, es decir, la manera en la que se entendía como estructura física y la concepción total del mismo parece no tener correspondencia. Así, la pregunta que surge naturalmente es: ¿qué es un gen? Al parecer, mientras más información se tiene acerca del funcionamiento de los genes resulta más complicada y menos precisa la definición de la entidad.

A pesar de que los científicos emplean el concepto de gen en una gran variedad de contextos, los “*biólogos moleculares, cuando se dirigen a la identificación de un gen en particular, han adoptado, casi universalmente, la visión de que los genes (más concreto los genes estructurales) son segmentos de cromosomas que codifican para polipéptidos específicos*” (Kitcher, 1982; p. 356). De esta manera, los genes para los biólogos moleculares son construidos e identificados sólo como la región codificante del ADN, considerándola como una unidad estructural simple y funcional de la herencia. Sin

embargo, esta visión no se encuentra considerando elementos fuera de los cistrones (fragmento o porción de ADN que codifica un polipéptido específico), es decir, aquellas regiones que no son sujetos de transcripción pero que son “*heredables, capaces de mutar y que influyen el fenotipo*” (Fogle, 1990; p. 360). Por lo que los genes deben ser “construidos” incluyendo todos aquellos elementos adyacentes a los cistrones que tenga una influencia razonable en la manifestación del fenotipo.

La revisión del concepto de gen debido a su aparente “molecularización” nos obliga a considerar varios aspectos. Por ejemplo, las unidades de ADN que pueden ser consideradas como parte del gen pueden estar ampliamente distribuidas a lo largo de los cromosomas. Además de ello, la barrera que divide la zona de influencia entre la región de transcripción y aquella que no se transcribe es un tanto incierta, es difícil de asignar empíricamente y puede empalmarse con otras regiones de otros “genes” que pueden depender de la misma secuencia de nucleótidos (Fogle, 1990). Por otro lado, el *alternative splicing*, que se refiere a la generación de diferentes hebras de RNA “premensajeros” que potencialmente pueden producir más de un producto genético, ha sido reconocido como un evento importante en numerosas rutas metabólicas celulares, pues su existencia en genomas eucariontes parece ser la clave para entender la existencia de tan pocos genes en el genoma humano (Tress, *et. al.* 2007).

Tal vez es mucho más conveniente hacer indicaciones acerca de las diferentes perspectivas que se pueden tomar para definir un gen, por lo que “*es importante que los genetistas reconozcan los diferentes niveles a los cuales un gen puede ser percibido, pero no es de mucha ayuda seleccionar uno de estos niveles y arbitrariamente designarlo como la definición universal de gen*” (Carlson, 1991; p. 477). Igualmente puede plantearse el hecho de que el gen es sólo una palabra, ya que según Beurton (2000), los genes no son más que fragmentos anónimos de ADN que el experimentador, dependiendo la manera en la que elige manipular el genoma, define y distingue debidamente acorde a sus fines. Habrá distintas maneras de denominar a un gen, algunas estarán relacionadas con el quehacer práctico y otras más estarán enteramente concentradas en el aspecto teórico del concepto;

como resultado no hay ninguna razón para creer que eventualmente veremos el nacimiento de un concepto único, o en la mejor clasificación.

Es decir, los genes de alguna manera son un concepto que tiene más que nada un fin instrumental y operacional, ahora bien, una vez que se ha mencionado lo anterior es preciso hacer notar que el hecho de que haya una desintegración del concepto de gen y que éste más bien deba su existencia a un quehacer epistemológico, luego parecería que hay una contradicción en torno a lo que Dawkins afirma. Es decir, si no es posible atribuir la acción de reduccionismo a un concepto que no presenta barreras precisas y que más bien es un fragmento anónimo de ADN que sirve al experimentador de la manera que crea más conveniente, una entidad no real es incapaz de ser “egoísta” y gobernar los fenotipos (Beurton, 2000).

Por tanto, autores como Beurton (2000) sugieren que un gene debe de ser más bien considerado como un fragmento no localizado a lo largo de la doble hélice de ADN cuya reproducción y variaciones se encuentran reguladas por la selección natural. Este concepto de gene tiene la característica especial de no considerarse como una entidad física concreta, sin embargo, sí puede funcionar como la unidad de selección más pequeña. De esta manera podemos afirmar entonces que el proceso de la selección natural construye a los genes dentro de las poblaciones, donde una diferencia que al principio resulta ser difusa a lo largo del ADN logra convertirse en una vía concreta y distintiva que puede dirigir el desarrollo ontogénico de los organismos, es decir, una diferencia entre organismos que se perpetúa a través de las poblaciones. Los genes son entonces entidades, producto de las dinámicas evolutivas entre poblaciones, que no necesariamente tienen que presentar una integridad física. De esta manera la selección natural ayuda a construir a los genes en lo que podría ser considerado como una trayectoria ontogénica entre los organismos.

A grandes rasgos, pueden haber cuatro formas de conceptualizar a los genes (Falk, 2000):

1. Los genes son entidades abstractas; esta noción es empleada con mucha frecuencia en genética de poblaciones, donde el gen es una variable que está bajo las reglas de principios como: la segregación, la recombinación y la mutación. Igualmente se toma en consideración los principios de la evolución como la adaptación, la selección, la migración, etc.
2. Los genes son entidades estructurales; en las que el gen es un segmento discreto de ADN que tiene integridad y continuidad en función e historia. Muchos biólogos moleculares aún emplean esta noción de gen en un esfuerzo por identificar una unidad universal, significativa y estructuralmente definible.
3. Los genes son entidades funcionales; el gen es una unidad derivada de la reproducción, considerada como el proceso básico de la materia viva.
4. Los genes son entidades operacionales; los sistemas vivos son esencialmente integrales y complejos. Para esta noción de gen resulta inútil hacer una distinción sobre una base ontogénica de tales entidades en sistemas integrales. El gen es un término genérico. Esta noción es adoptada por muchos biólogos moleculares.

### **El papel de la epigénesis.**

Los genes no actúan de manera independiente del ambiente; no son ni la principal ni la única influencia causal en el proceso de desarrollo de los organismos, así como en el moldeamiento del comportamiento. En lugar de ello, los genes y el ambiente son fuerzas de igual magnitud e importancia; en efecto, esas dos fuerzas, la herencia y el ambiente, se encuentra completamente fusionadas (Lerner, 1992). Tanto los genes como el ambiente (interno y externo) tiene influencia mutua, y de la misma manera construyen barreras entre sí de manera que la relación es flexible y no de una naturaleza absoluta. Los genes sin el ambiente no encuentran una justificación para su existencia, de la misma manera que el ambiente sin organismos vivos sería vacío y sin significado alguno. Es decir, el problema radica en el privilegio que se le da a los genes como las unidades fundamentales mediante las cuales trabaja la evolución, y más allá de ello, la labor que llevan a cabo los genes (en el

sentido de ser entidades físicas no localizadas, pero con una gran utilidad instrumental, según lo diría Beurton) no es propiamente la de los maestros del destino, no son los mensajeros fatalistas del ser humano, ni la respuesta absoluta a todas las interrogantes sobre la naturaleza humana. Por lo cual en vez de especificar qué es lo que causa o explica el desarrollo es más conveniente poder denominar grados en los que los diferentes factores intervienen, pues dar la propiedad de genético a un fenómeno dado es una forma incorrecta de acercarse a un problema y denotar determinismo genético (Gifford, 1990).

Dado lo anterior debemos examinar la relación que existe entre los genes y el ambiente, anotar los distintos niveles de organización que forman parte de un organismo así como la influencia vital que en la expresión de la información contenida en estas entidades existe. Ahora bien, partiendo del hecho de que la molécula del ADN posee la característica de transmitir la información contenida en ella de generación en generación resalta el hecho de que no es sólo esta molécula la que se encuentra involucrada. Es decir, además de heredar de nuestros padres el ADN el proceso reproductivo nos proporciona o transmite citoplasma. Su importancia radica en el hecho de que los elementos que se encuentran inmersos en este citoplasma son componentes activos que toman parte de la expresión de la información contenida en el mensaje genético con la finalidad de mantener la estabilidad del organismo y poder responder a toda clase de desafíos ambientales; estos estados citoplasmáticos son conocidos también como *modificaciones duraderas o paramutaciones*.

Como menciona Bonner (1965), el “mensaje genético” contenido en el ADN no existe de manera única, aislada y sin otro tipo de componentes que sean necesarios para que esta información pueda ser “decodificada”. Al contrario, al igual que un sistema computacional (dada la costumbre de asociar el ADN a un programa de computadora) debemos notar que en la escena existen mucho más factores en la ecuación más allá que sólo los genes, “*la lógica del desarrollo está basada sobre una red genética, de eso no puede haber duda*” (Bonner, 1965; p. 148). En este sentido Bonner se refiere específicamente a elementos tales como: redes enzimáticas, cascadas de reacciones metabólicas, complejos de transcripción, señales de traducción, promotores, etc. Dentro de cada uno de los cuales existen “*switches*” que posibilitan la activación y desactivación de

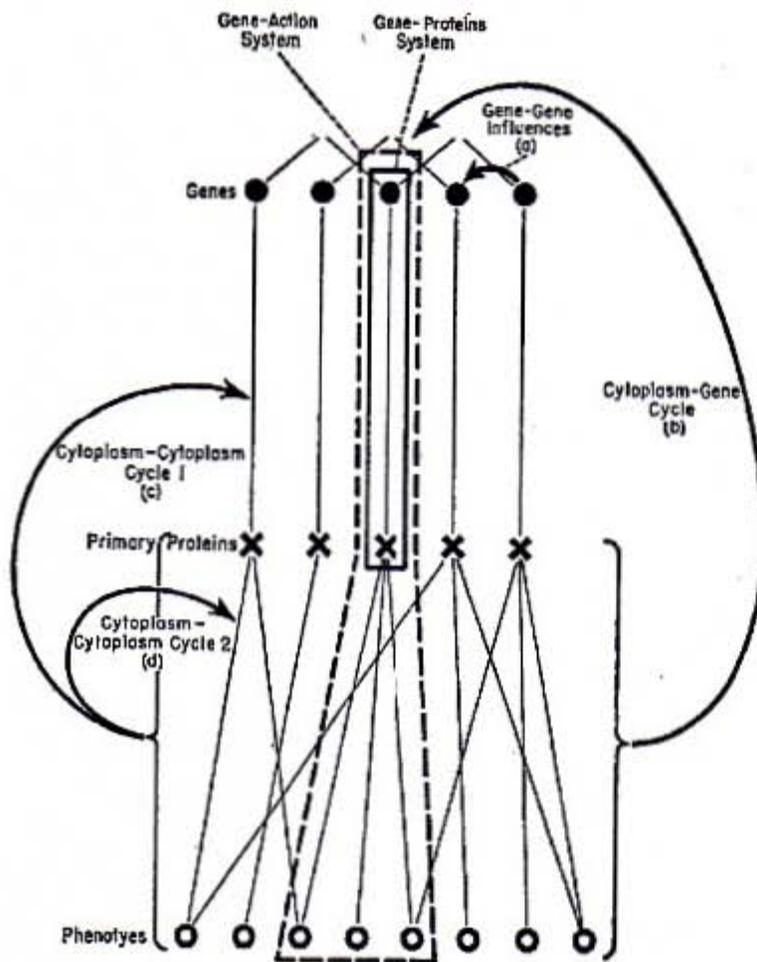
los mismos. De esta manera nos aseguramos que la regulación de la actividad genética puede ser administrada mediante este sistema que no reside propiamente en el genoma sino que se encuentra inmersa en el citoplasma y en la maquinaria celular integrada a un todo.

Esto se ve reforzado por el hecho de que para realizar cambios notablemente importantes debemos de recordar que no es necesaria la creación de “nuevos genes” como bien lo anota Matt Ridley en su *Nature via Nurture* (2003), sino que más bien la clave estriba precisamente en la activación y desactivación de los mismos según distintos patrones; pues como se recordará, el continuo empalme de las regiones codificantes o exones (*splicing*) es capaz de impulsar la cascada de reacciones que provoca la creación de nuevos productos proteicos, así, adaptando las secuencias de un promotor o bien añadiendo uno nuevo es posible alterar la expresión de un gen. Este mismo gen podrá a su vez alterar la creación de muchos otros genes más y de esta manera un cambio diminuto es capaz de crear diferencias importantes entre los organismos, no dejando de lado que esta actividad incluye en sí misma la interacción de distintas moléculas.

Este tipo de interacciones, en especial la relación genotipo-fenotipo, en la cual se analiza la relación entre el mensaje contenido en los genes y las diversas moléculas que forman parte de la maquinaria celular y que permiten su procesamiento, así como la interacción de los genes con los factores ambientales se le conoce como *epigénesis*. El término de epigénesis fue introducido por Conrad H. Waddington, con la finalidad de promover la importancia de la genética como un factor unificador en la biología. Hacia 1939 en su libro *Introduction to Modern Genetics* establecía que la conexión entre la genética y otras ramas de la biología, como la citología, la embriología, la evolución y la biología celular era mucho más cercana de lo que se creía y que “*los límites y barreras entre estas áreas de estudio merecen mucho menos atención de la que usualmente se le da*” (Waddington, 1956; p. 8).

La idea de Waddington (1946) fue contextualizar la importancia y actividad de los genes, especialmente para el campo de la embriología, y nos dice que: “*En todas estas reacciones (refiriéndose al desarrollo embrionario) los genes no están actuando solos, sino*

que están cooperando con la materia viva fuera del núcleo, o del citoplasma...Probablemente el citoplasma provee de muchos de los mecanismos fundamentales por medio de los cuales el desarrollo se puede lograr, y los genes actúan como agentes de dirección y control... porque finalmente el gen y el citoplasma son dependientes el uno del otro y ninguno puede existir por sí mismo” (Waddington, 1946, p. 123-124). De esta manera Waddington nos dice que los genes afectan varios procesos y trabajan de manera conjunta formando redes. Asimismo nos señala que no hay una relación uno a uno entre los genes y las características fenotípicas, la única relación que existe entre ellos es como un todo.



En la interpretación de Waddington, la preformación y la epigenesis se vuelven complementarias, esto es, mientras la preformación se refiere a la genética, la epigenesis se refiere al desarrollo. De esta manera Waddington centra su atención en los procesos causales por medio de los cuales los genes interactúan entre ellos así como con el ambiente externo e interno del organismo.

**Fig. 1. Esquema original de Waddington de un sistema de acción epigenética en la célula.**

La interacción (a) gen a gen, (b) citoplasma a gen, (c) citoplasma al sistema gen-proteína, y (d) citoplasma al sistema proteína primaria-fenotipo. Se advierte el gen en los contextos de atención estudiados por Waddington. (Waddington, 1962, Pp. 84).

Waddington define al genotipo como “*el sistema genético del cigoto considerado como un conjunto de potencialidades para las reacciones del desarrollo y como un conjunto de unidades heredables; es decir, eso incluye no sólo la mera suma de los genes, sino su arreglo, expresado como la posición, sus efectos, las translocaciones, inversiones, etc.*” (Waddington, 1956; p. 155). Por su parte, el fenotipo es “*todo el conjunto de caracteres de un organismo, considerado como una entidad en desarrollo*”(Waddington, 1956; p. 155).

Finalmente vemos que Waddington considera al proceso del desarrollo como un proceso epigenético; ya que el fenotipo es el resultado de una serie de interrelaciones entre los procesos genéticos, sus potencialidades y restricciones, diferencias citoplasmáticas y el ambiente externo. Así pues la unión de la *epigénesis* y la *genética* resultan finalmente en lo que se denomina como *epigenética*, un término más apropiado precisamente para el estudio causal del desarrollo, haciendo énfasis en la fundamental dependencia con la genética. El proyecto de la *epigenética* surge en la década de los 1940's como un ambicioso trabajo continuamente apoyado por Waddington, hasta su última publicación, *The Evolution of an Evolutionist*, publicado después de su muerte en 1975 (Speybroeck, L.V., 2002).

Waddington habría de mencionar la regulación epigenética hacia la década de los 1960's, donde pone toda su atención en el proceso del desarrollo celular y particularmente estudia el contexto citoplasmático del genoma. Así, describe a la célula como un doble sistema cíclico en el cual: 1) los genes construyen productos genéticos, que elaboran los elementos citoplasmáticos finales, mientras que 2) los elementos cictoplasmáticos mandan información de regreso hacia el nivel genético para regular la actividad genética. El mensaje es claro: los genes no sólo regulan, sino que ellos mismos son también regulados por elementos no-genéticos, como las concentraciones relativas de sustancias o el ambiente externo del organismo (Fig. 1.). Por lo que un gen en sí mismo, según Waddington, no puede ser visto como la unidad activa del desarrollo, ya que está sujeto a muchos factores de influencia (Waddington, 1962).

Para Richard Strohman (1994) el concepto de epigénesis requiere de atención y de una examinación cautelosa, pues afirma que existe una gran redundancia en el sistema de un organismo en el sentido de que hay que considerar los muchos caminos impredecibles que pueden desembocar en el mismo resultado fisiológico, un ejemplo claro de ello es el hecho de contar con un código genético degenerado. Evidentemente dicha afirmación proviene de la idea que temporalmente se instaló acerca de la aparente correspondencia entre un gen-una enfermedad, donde la presencia de padecimientos correspondientes a un único gen auguraban un futuro prometedor. Sin embargo, Strohman advierte que dicha forma de pensamiento puede provocar que el público sea alarmado de manera innecesaria y grandes cantidades de dinero pueden ser empleadas en tareas que pueden resultar no fructíferas.

Mientras haya enfermedades en las que exista la correspondencia de un gen-una enfermedad (como es el caso de la anemia falciforme), el mapeo genético que pueda determinar ciertos fenotipos es completamente válido, a pesar de que las enfermedades genéticas en un sentido estricto sean sólo aproximadamente del 2%. Por otra parte, ahora sabemos que esta correlación no es universal y aplicable a otro tipo de condiciones (como lo es el cáncer, enfermedades cardíacas y diversos tipos de enfermedades mentales) que no pueden ser reducidas al aspecto puramente genético, ya que su origen depende de muchos otros factores, de ahí que existan muchos caminos que desemboquen en el mismo efecto. De esta manera evitamos el riesgo de hacer una simplificación de la unión entre genotipo y fenotipo (Strohman, 1994). Respecto a este asunto Ridley afirma que:

*“Los genes no son maestros ni títeres ni planes de acción. Ni tampoco son solamente los portadores de la herencia. Su actividad dura toda la vida; se activan y desactivan mutuamente; responden al ambiente. Puede que dirijan la construcción del cuerpo y el cerebro en el útero, pero luego se ponen a dismantelar y reconstruir lo que han hecho casi inmediatamente –en respuesta a la experiencia-. Son causa y consecuencia de nuestras acciones. En cierto modo los partidarios del ‘entorno’ se han asustado absurdamente a la vista del poder y la inevitabilidad de los genes y se les ha escapado la mayor de las lecciones de todas: los genes están de su parte” (Ridley, M. 2003; p. 14-15).*

Strohman indica que es necesario hacer una distinción acerca de la actividad genética que tiene influencia en el proceso operativo que da origen a un fenotipo



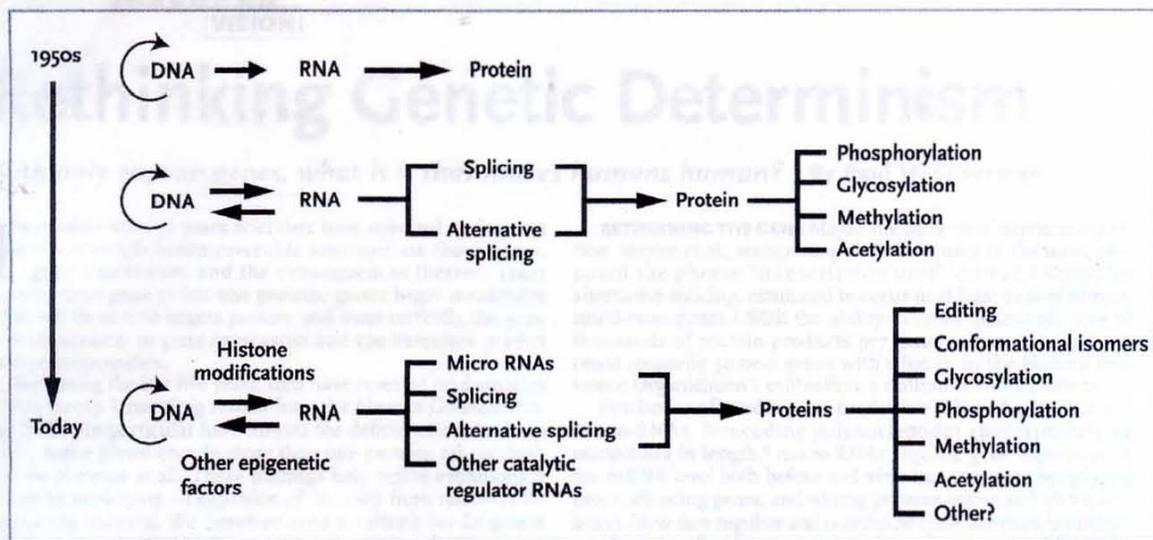
sensible a la influencia ambiental y que además depende contextualmente de la situación en el que se encuentre la maquinaria celular para poder dar origen a una función determinada (Fig. 2). Es decir, la labor de los genes es indudablemente necesaria para la creación de los fenotipos, pero de ninguna manera es posible que digamos que es suficiente.

Por otro lado, Strohmán afirma que los distintos niveles de organización presentes en un sistema, como lo es la célula, son capaces de llevar a cabo un proceso de reorganización una vez que éste es impulsado por su interacción con elementos circundantes del ambiente y las señales que el propio organismo otorga. De la misma manera Ridley afirma que el medio, además de ser un agente que juega el papel de regular la expresión génica provocando cambios en el fenotipo, es capaz de crear mutaciones en las células que eventualmente puedan transmitirse a sus células hija. El elemento clave de esto es que la dinámica que se sigue en la epigenesis es independiente de las reglas que existen al nivel de los genes, por tanto los genes solos son elementos pasivos que no pueden construir un organismo completo sin las demás funciones celulares (Strohmán, 2003).

Al igual que Strohmán encontramos autores que de igual manera consideran necesario el planteamiento de un nuevo modelo para explicar la expresión de la información contenida en los genes. Paul H. Silverman en su artículo *Rethinking Genetic Determinism* nos dice que, *aunque el gene no tiene el papel central en el desarrollo de un fenotipo, comparte la responsabilidad con muchos otros elementos* (Silverman, 2004; p. 32), como es el ambiente externo y el ambiente interno del organismo. Señala que el modelo clásico de transmisión de la información *no satisface la plasticidad y complejidad que en los últimos años se ha descubierto que existe en el proceso de expresión génica* (Silverman, 2004; p. 32) . Así, combinando las disciplinas de la biología, matemáticas, ingeniería y computación podremos comprender en su totalidad el comportamiento celular (Fig. 3).

Al inicio del siglo XX y luego del planteamiento de una nueva forma de expresión génica, los genetistas crearon lo que se conoce como el *concepto diferencial de gen*, el cual surge debido a la necesidad de poseer un método viable para el trabajo de

investigación científica dada la nueva teoría que establecía las relaciones de muchos a muchos entre los genes y sus tratamientos (fenotipos). Este concepto trata un nivel ontológico diferente, ya que lidia con las relaciones entre los cambios en los genes y los cambios en sus fenotipos, en vez de centrar su atención en la naturaleza de las entidades en sí mismas (los organismos), y de esta manera poder lograr una conexión entre ambos (Schwartz, 2000).



**Fig. 3. Expandiendo el Dogma.** Se muestra el Dogma Central de la biología molecular como fue formulado hacia la década de 1950, con el flujo unidireccional de información. Modificaciones post-transcripcionales se añadieron al modelo, y finalmente múltiples factores que afectan la expresión genética en todas las etapas del proceso se volvieron evidentes: a nivel transcripcional, a nivel de traducción y a nivel post-transcripcional, (Silverman, 2004; p. 33).

El concepto diferencial del gen intenta relacionar los diferentes estados alternativos de un gen (alelos) con las diferentes formas de expresión de un fenotipo determinado. Toma en cuenta el hecho de que existen las mutaciones, y que al menos en algunos casos, son ellas las responsables de los cambios en el fenotipo, es decir, son un factor importante que marca una diferencia real en cuanto a un tratamiento dado. El concepto diferencial del gen sirve como una mera estrategia de investigación, una herramienta, que le sirve al científico o experimentador para poder llevar a cabo su labor, tomando en cuenta las relaciones que existen entre el genotipo, el fenotipo y el ambiente (tanto interno como externo). Asimismo, el concepto diferencial de gen permite a los investigadores obtener resultados bajo un mayor nivel de control sobre el experimento en cuestión. Esto es, para el

momento en el cual era desarrollada la idea del concepto en los laboratorios era posible controlar las condiciones del mismo, y de esta manera crear un ambiente artificial en el cual se podían obtener resultados repetibles con una influencia casi nula por parte del ambiente.

El concepto diferencial del gen concibe la relación entre los genes y sus tratamientos como una relación multifactorial. Mientras muchos genes pueden contribuir a un solo tratamiento, un solo gen puede de la misma manera contribuir a muchos tratamientos, siempre tomando en cuenta que el ambiente influye de manera importante y es capaz de proveer de variabilidad. Ahora bien, el concepto desde su formulación inicial, parece obscurecer el hecho de que en el estudio genético la teoría y el método de investigación, es decir, la práctica, no han sido guiados por las mismas premisas. Una mirada más cercana nos permite observar que cuando se establece la existencia de una relación muchos a muchos entre el genotipo y el fenotipo, en el laboratorio el método de investigación seguía considerando las relaciones uno a uno entre los genes y sus características, pues representaba ser más fructífera su tarea; este es el concepto diferencial del gen. El concepto diferencial del gen se convierte en el sello de los genetistas y del análisis genético. Usualmente los genetistas prefieren agotar todas las posibilidades que les aporte el concepto diferencial del gen antes de voltear a considerar el rol de los diferentes factores ambientales.

Así pues, el concepto diferencial de gen resulta ser más atractivo para los investigadores y genetistas, pues constituye una tarea más fructífera, a pesar de la simplificación en cuanto a las relaciones genotipo-fenotipo-ambiente. Sin embargo, esta herramienta conceptual permite al investigador elegir entre un ambiente controlado y uno en el que se quiera estudiar el efecto y la variabilidad que puede inducir el factor ambiente, ignorando las condiciones controladas del laboratorio. La capacidad de aislamiento de algunas variables (en este caso el ambiente) ha permitido que el concepto diferencial del gen sea una herramienta muy útil inclusive en nuestros días dado que es capaz de coexistir con la idea uno a uno así como con la idea de muchos a muchos entre los genotipos y los fenotipos (Schwartz, 2000).

Ahora bien, dado que los genes son entidades que producen mensajes que son completamente predecibles (sabemos la secuencia y en muchos casos la función de los productos), se les ha tachado de ser deterministas, fatalistas e implacables. Pero dado que los mensajes que se encuentran en los mismos genes están sujetos al encendido y apagado genético que resulta como respuesta de la interacción con el ambiente, los genes en realidad distan mucho de poder ser unas entidades con acciones inamovibles. En este sentido, el genoma extrae la información del ambiente que eventualmente se convierte en las instrucciones (por decirlo de alguna manera) que en cada momento pueden cambiar y transformar el patrón de expresión de los genes, en respuesta a las acciones directas o indirectas de los eventos externos al organismo. Pues como Matt Ridley afirma: “*los genes son los mecanismos de la experiencia*” (Ridley, 2003; p. 279). La cultura (y con ella la libertad, el espíritu humano) se reconoce que se encuentra indisolublemente unida a los genes, ante todo en su manifestación cerebral y neuronal (González, 2005).

### **Genes y cultura.**

La razón por la que la especie humana domina el planeta no reside en nuestro ADN, ni en nuestra capacidad de aprender asociaciones, ni en la de comportarnos con educación, sino en nuestra capacidad de acumular cultura y transmitir información a través de los mares y de generación en generación (Lewontin, 2003).

*“No es un juego en el que unos ganen y otros pierdan, en el que la cultura desplace al instinto o viceversa. Podría haber toda suerte de aspectos culturales en una conducta basada en el instinto. Más que influir sobre la naturaleza humana, la cultura será a menudo un reflejo de ella”* (Ridley, 2003; p. 69).

¿Qué es la cultura? Para los antropólogos, que han analizado miles de ejemplos, la cultura es la totalidad de formas de vida que presenta una sociedad determinada. Esto es, su religión, arte, tecnología, deporte y todo tipo de conocimiento sistemático que pasa de generación en generación (Wilson, 1998). Para Wilson (1998) el principal punto débil dentro del área de conocimiento del comportamiento humano, es que la genética del comportamiento encuentra muy difícil, técnicamente hablando, definir e identificar los genes relevantes en los respectivos mapas genéticos. Sin embargo, Wilson (1998) nos dice

que el mapeo genético resulta ser el principio, y que el descifrado de las rutas metabólicas de los genes, aunque parezca ser una tarea abrumadora, puede ser posible.

Para Lumsden y Wilson (Lumsden y Wilson, 1981) existen tres pasos que van desde los genes hasta la generación de la cultura. Estos son: 1) de los genes a la epigénesis, 2) de la epigénesis al comportamiento individual y finalmente, 3) del comportamiento individual a la cultura. El pivote principal de esta teoría genes-cultura es la epigénesis, definida como el total de procesos e interacciones entre los genes y el ambiente durante el desarrollo, siendo estos genes expresados a través de un control o reglas epigenéticas. Estas reglas epigenéticas son el complejo rango de filtros selectivos que comprenden uno o más elementos a lo largo del sistema nervioso. Estas reglas epigenéticas surgen pues de la especificidad de la estructura celular, las redes neuronales y la segregación de hormonas, cuyas propiedades en sí mismas son los productos más fundamentales de la epigénesis a nivel celular.

Ahora bien, Lumsden y Wilson (1981) advierten que no existe una barrera totalmente definida entre la evolución genética y la evolución de la cultura. Esto es, la epigénesis está ligada a los genes, es por ello que la unión resulta no tener una clara línea distintiva. De esta manera el aprendizaje del lenguaje y la escritura son, por ejemplo, originados sobre una base genética; sin embargo, están sujetos a las epigenéticas. Estas reglas epigenéticas permiten que las señales que recibe un individuo conviertan a éste en una entidad cultural completa, en un ser humano. La mente está pues sujeta a una constante actividad de crecimiento, se ve estimulada por la continua interacción con los miembros de la sociedad, y así eventualmente se crea la cultura.

Lumsden y Wilson (1981) dividen a las reglas epigenéticas en dos: 1) Control primario, esto es, los procesos automáticos que provienen del filtrado sensorial. Para el surgimiento de la cultura el control epigenético se centra pues en los procesos sensoriales y perceptivos más fundamentales; los estímulos que recibe la retina y otros receptores primarios, permiten la integración de información visual y auditiva, dando lugar a procesos corticales más complejos. Por ejemplo, la estimulación de la retina que facilita la

percepción de los cuatro colores principales; y 2) Control secundario, la información que se obtiene del campo perceptual eventualmente es evaluada a través de procesos tales como la memoria, las respuestas emocionales, y la toma de decisiones por medio de las cuales los individuos se diferencian culturalmente unos de otros. El éxito reproductivo está definido en función del genotipo de los individuos y las interacciones entre las entidades culturales de una sociedad.

Ahora bien, cabe mencionar que dentro de la teoría de los genes-cultura, los genes no definen el comportamiento social. Los genes dan origen a procesos orgánicos, que Lumsden y Wilson definen como procesos epigenéticos que se “alimentan” de la cultura para dar forma a la mente y canalizar su operación. El comportamiento es pues, dentro de esta teoría, considerado como *“un producto de la mente que lidia con las contingencias de la existencia día a día”* (Lumsden y Wilson, 1981; p. 349). Luego, la mente escoge un comportamiento en particular con base en una estructura de conocimiento, que es a su vez es el resultado del aprendizaje y de una reflexión activa. Es importante señalar en este punto que aún se mantienen sin explicación varios de los procesos genéticos que caracterizan un comportamiento determinado. La evidencia acumulada nos indica que los genes son los responsables de la configuración de las células nerviosas y de la manera en la cual las hormonas las afectan, esto es, las reglas epigenéticas, y son precisamente estas las que le da forma a la generación de la cultura. En realidad son cientos o miles los genes que intervienen en el mantenimiento de cualquier órgano o patrón de comportamiento (Lumsden y Wilson, 1999). Las reglas epigenéticas representan las unidades moleculares en la coevolución de los genes y la cultura, son la línea que divide estos dos niveles de desarrollo, de los genes a la epigénesis y de la epigénesis a la cultura. Así pues, Lumsden y Wilson (1981; p. 353) concluyen que *“los procesos de cognición humana son estructurados por procesos epigenéticos sobre una base genética, que actúa sobre la cultura, y que son de naturaleza compleja y selectiva”*. Los individuos permanecerán influenciados por factores externos a ellos. En este caso, serán también “programados” por su cultura (Lumsden y Wilson, 1999).

Por otra parte, personajes como Durkheim (1892) nos dicen: *“las características generales de la naturaleza humana participan en una tarea de elaboración que da como resultado la vida social. Pero no son una causa ni le dan su forma particular; sólo la hacen posible. Las representaciones colectivas, las emociones y las tendencias no están provocadas por ciertos estados de consciencia de los individuos sino por las condiciones en las que el grupo social, en su totalidad está situado. [...] Las naturalezas individuales son sencillamente el material indeterminado que el factor social moldea y transforma”*. Por su parte, Lewontin (2003; p. 236-237) considera que: *“la capacidad humana para la cultura proviene no de algunos genes que coevolucionan con la cultura humana, sino de un grupo fortuito de preadaptaciones que de repente proporcionan a la mente humana una capacidad casi ilimitada de acumular y transmitir ideas. Todas estas preadaptaciones están afianzadas en los genes”*. Así, vemos que existe puntos en común en cuanto a la discusión de los genes y la cultura. Primero, la cultura no es generada por un individuo, sino que el grupo de individuos en un contexto de interacción permiten que ésta se genere. En segundo lugar, la generación de la cultura es posible gracias a una base genética. Esta información genética no debe entenderse como la causa del comportamiento humano ni de la cultura misma, sino como un mecanismo para que el comportamiento y la cultura tengan lugar. Y finalmente, la cultura explica en buena medida el éxito ecológico de los seres humanos (Lewontin, 2003). Sin la capacidad de generar cultura y la capacidad de acumular y mezclar las ideas, producto del conocimiento grupal, nunca hubieran surgido la agricultura o la medicina; e inclusive no hubiera sido posible el establecimiento de ciudades, leyes y los organismos que permitieron a los seres humanos gobernar al mundo.

Dentro de los procesos de desarrollo de los organismos los genes no actúan de manera independiente al ambiente (interno y externo). Ambos están sujetos a una íntima relación y permanecen en continua interacción e influencia; ninguno de los dos son agentes causales únicos ni principales del desarrollo de los organismos ni del surgimiento de la cultura. El proceso epigenético nos ha demostrado que la herencia y el ambiente son fuerzas relevantes que demuestran la relativa plasticidad en el desarrollo y el surgimiento de la conducta en los seres humanos. Así, la expresión del genotipo de cualquier ser

humano es un fenómeno de desarrollo influenciado interna y externa por los componentes históricos de las fusiones existentes entre el genotipo y el ambiente.

### **Genes y ambiente.**

El ambiente al igual que los genes es un elemento clave en el desarrollo de la vida del ser humano. La interacción entre éstos es decisiva, la identificación de los genes como agentes causales específicos conlleva a dar un privilegio inadecuado a los genes y al genoma no permitiéndonos ver la relevancia de la relación genoma-ambiente. Ya que muchos de los efectos que tiene el genoma sobre la creación de un fenotipo proviene de la interacción con los elementos externos ambientales (en ocasiones puede tratarse de más de un elemento ambiental) y algunos otros efectos pueden deberse a factores ambientales específicos. Lo que nos queda claro de esto es que ciertamente sin la información contenida en los genes no es posible “construir” un ser vivo. Es decir, ambos son elementos no triviales para el desarrollo de un organismo, de manera que ninguno triunfa sobre el otro: *“no compiten; no son rivales; no se trata en absoluto de enfrentar a la naturaleza con el entorno”* (Ridley, 2003; p. 110).

El genoma eucarionte es comúnmente (y apropiadamente) concebido como una entidad dinámica, que constantemente se encuentra respondiendo a una gran variedad de estímulos externos e internos, que alteran la expresión genética y afectan el comportamiento de los cromosomas. Una característica fundamental que diferencia al control epigenético de otras formas de control de la expresión genética es que en la epigénesis el locus afectado no se encuentra frecuentemente alterado ni pasa por alguna clase de cambio en lo que a su secuencia primaria de ADN se refiere. Es decir, no hay ninguna clase de alteración en la secuencia, pero si existe una alteración en la expresión de esa secuencia o de ese gen. Un ejemplo de ello es la inactivación de uno de los cromosomas X en las hembras de los mamíferos. La elección del cromosoma que va a ser inactivado es azarosa y no se encuentra basado en las diferencias entre las secuencias de la copia paterna o la copia materna. Así, un fenómeno de control epigenético (Russo, *et. al.* 1996) es definido como *“un cambio hereditario mitótico o meiótico en la función genética que no*

*puede ser explicado por los cambios en la secuencia del ADN”* (Urnov y Wolffe, 2001; p. 154).

En 1975, Riggs (1975) e independientemente, Holliday y Pugh (1975), ofrecieron una hipótesis que se refería a la metilación sobre locus específicos en algunas regiones del ADN, que afectaba su expresión y que proveía un fuerte argumento a favor del control epigenético de los genes. Esta idea resultó ser muy atractiva debido a que las modificaciones de ADN por metilación no alteraban la secuencia primaria de las bases.

Los genomas de mamíferos codifican unas proteínas que son denominadas como MBDs<sup>3</sup> (*methylated DNA binding domain*) las cuales tienen la capacidad de poder unirse a cualquier región de ADN metilado (Hendrich y Bird, 1998). Dicha propiedad impulsó una investigación sobre sus propiedades como reguladores de la transcripción, y eventualmente el grupo de trabajo de Wolffe y Bird demostró que algunas proteínas MBDs y una ATP dependiente de cromatina eran capaces de reprimir el proceso de transcripción (Bird y Wolffe, 1999). Estos descubrimientos, como era de esperarse, sugerían un mecanismo por el cual la creación y el mantenimiento de un silenciamiento transcripcional son regulados por un control epigenético. Lo interesante de la metilación del ADN es que se hereda, de modo que, cuando se replica el ADN, las bases marcadas por metilación en la vieja cadena también se encuentran metiladas en la nueva. Esta herencia “epigenética” es al menos parcialmente responsable de la estabilidad de estados diferenciados de las células.

Las observaciones generales con respecto al rol de la metilación del ADN en el control génico son muy fuertes al respaldar la idea de una correlación positiva entre la metilación de una secuencia particular y su silenciamiento transcripcional. Esta correlación es más conspicua en el caso de la vasta cantidad de elementos móviles dentro del ADN, como es el caso de los transposones, que se encuentran en los genomas de los mamíferos (Urnov y Wolffe, 2001). La metilación del ADN promotor permite que la secuencia primaria permanezca sin cambio alguno, y que haya un estado de silenciamiento transcripcional.

Se ha establecido que existen varias razones por las que estas modificaciones pueden ejercer tal influencia de silenciamiento: 1) la metilación de sitios particulares de ADN de proteínas reguladoras puede prevenirlas de cualquier tipo de unión, de ahí que no haya transcripción; 2) El ADN metilado tiene la capacidad de formar una especie de complejo proteico específico que se une a él; y finalmente 3) el ADN metilado en sí mismo puede adquirir propiedades estructurales novedosas. Aunque existe evidencia de cada uno de los tres escenarios, el segundo es el que parece encontrarse mejor caracterizado. Las proteínas MBDs que contiene nuestro genoma son un número de proteínas que representan una conexión con la modificación y el remodelamiento de la cromatina y el establecimiento de un silenciamiento epigenético (Urnov y Wolffe, 2001).

Para la construcción de los fenotipos la información genética debe ser replicada y decodificada, para lo cual la información contenida en el ADN es manipulada por toda una serie de enzimas y cadenas de reacciones, y adicionalmente recibe la información proveniente del ambiente externo con la finalidad de modular la expresión de los genes. De acuerdo a esto notamos que el genoma como tal no es una entidad absoluta. Es cierto que existen genes que son esenciales para dar origen a un determinado fenotipo, sin embargo, por sí mismos sólo constituyen materiales inertes. Es decir, el genoma es un sistema abierto, inseparable de su ambiente externo que contribuye a un mutuo moldeamiento:

*“... el genoma no es un sistema estático, invariable, sino todo lo contrario. El genoma de los seres vivos, nuestro genoma, es un sistema dinámico interactivo que se reorganiza en cierta medida y cuyo propósito es generar un organismo que reaccione hacia y con el ambiente...” ( Bolívar Zapata, 2000; p. 96).*

La nueva verdad que sorprende es la importancia del ambiente como influencia esencial en la expresión de los genes (incluyendo el factor experiencia) que interviene en la formación de los seres humanos, no sólo en el aspecto fisiológico, sino también en el aspecto psicológico. Es decir, es posible estimular a través de la influencia ambiental la expresión de un gen cuyo producto estimula a su vez la expresión de otro gen que suprime la expresión de un tercero, y así sucesivamente. Es justo en medio de esta pequeña cadena de eventos que podemos intercalar los efectos de la experiencia. Algo externo –como la educación, la alimentación o una pelea- puede influir en la expresión de los genes (Kitcher,

2002). De esta manera el ambiente puede ser expresado en cierta medida a través de los genes.

Con este tipo de razonamiento llegamos al entendido de que la habilidad de acción en los genes constituye una realidad compleja y dinámica, en la que primeramente la interacción entre los propios genes establece una primera etapa de acción, luego, las relaciones que los genes tienen con el ambiente son necesarias, tanto en el aspecto físico como en el social y el cultural. La expresión genética en este sentido es de naturaleza maleable, y se va definiendo mientras las interacciones internas y externas llevan su curso; este sistema tan complejo no permite una visualización simplista de las cosas, por lo que no es posible destinar todo el poder de acción y una causalidad lineal que recaiga sobre los genes. El genetista Antonio Velázquez lo expresa así: “*Cabe afirmar categóricamente que no existe el determinismo genético [...] y se puede utilizar la metáfora de un ‘principio de incertidumbre’ en biología*” (Velázquez, 2001; p. 43).

Lo anterior nos lleva a pensar en el poder real de los genes. Nos damos cuenta que existe la información necesaria para la “construcción” de un organismo vivo; pero el ensamble de las piezas para el producto final no es posible que se lleve a cabo sin el papel de otros tantos elementos. Entre ellos encontramos con especial importancia el ambiente externo del organismo, que tiene la capacidad de moldear la expresión de los genes según las condiciones que estén gobernando. Así, las influencias mutuas entre el interior y el exterior, entre los factores genéticos y los no genéticos, es ampliamente reconocida como esencial. En el genoma hay “...*predeterminaciones genéticas [...] literales predisposiciones, propensiones, tendencias, con mayor o menor fuerza de realización, condicionadas a su vez por el intercambio de información con el entorno*” (González, 2005; p. 86).

### **“Genes para” o no “genes para”.**

Basados en la interpretación anterior resulta inevitable recordar el bombardeo de reportes, basados en un determinismo genético y el esencialismo genético, que clamaban el

descubrimiento de un *gen para* un fenómeno *X* en particular. Este tipo de afirmaciones, que comúnmente son realizadas por los diversos medios de comunicación de nuestro tiempo, usan un lenguaje que parece ser natural y apropiado, evidenciando la magnificencia de los nuevos estudios genéticos y sus grandes avances. Sin embargo, denominar un *gen para* un fenotipo en particular es algo complicado, no es sólo mencionar la influencia o actividad del gen en concreto y la relación que tiene con las características que supuestamente le da al fenotipo en cuestión, a pesar de ser lo que ciertamente observamos cuando se nos informa del descubrimiento de un nuevo gen. Además de ello, es necesario mencionar la importancia biológica que debe existir entre dicha asociación y su significado evolutivo con la finalidad de demostrar que no se encuentre solamente asociado, sino que efectivamente existe una correspondencia entre el gen y el fenotipo. El tipo de argumentos que discuten la existencia de *genes para* se encuentran situados en dos extremos relativamente opuestos, los primeros mencionan que la notación “*genes para*” es una denominación inofensiva y de fácil análisis, y aquellos que consideran ese tipo de denominaciones como perniciosas e incoherentes. Claro está que hay una gran cantidad de literatura que respalda cada una de estas posturas, pero en esta sección haremos una breve revisión en lo que concierne al tema principal de este trabajo.

Históricamente personajes como Dawkins (1982) afirman que sí existe una correlación estadística entre las variaciones particulares de un fenotipo y la aparición de cierto gen, estamos frente a un gen cuya función es *para* la característica en cuestión. Dawkins usualmente es tratado como partidario de la existencia de “*genes para*”, casi como un representante de dicha argumentación. Por su parte Sterelny y Kitcher (1988; p. 348) mencionan que “*es posible la existencia de genes para X si la sustitución del cromosoma, en los ambientes relevantes, conlleva a la aparición de diferencias en una característica X*”.

A pesar de lo anterior, la manera de argumentar es simplemente denotando las relaciones casuales de los fenómenos. Lorenz (1963; p. 14) afirma que “*a menos de que la selección natural se encuentre trabajando, las preguntas ¿para qué? no pueden recibir una respuesta con algún significado biológico real*”. Es decir, las preguntas ¿para qué? no son

preguntas que puedan ser simplemente respondidas mediante el establecimiento de sus relaciones causales (causas eficientes), pues ello no garantiza un significado biológico real. No es posible elaborar explicaciones en biología que se remitan sólo a la elaboración de una ecuación matemática. Como Lorenz nos los indica, la única manera por medio de la cual es posible contestar este tipo de preguntas es haciendo alusión a aquellas causas que involucran la actividad de la selección natural, es decir, es necesario hacer explicaciones teleológicas, se necesita el contexto histórico que en biología resulta ser sumamente importante. El principal problema que encontramos en la correlación estadística de Dawkins es que esta manera de denominar el fenómeno lleva a una mala interpretación, dándole a los genes un papel primordial en los procesos del desarrollo, ya que se piensa que dicha denominación es útil, informativa y práctica, sin embargo, el proceso evolutivo es un proceso histórico que requiere un análisis teleológico. Esto no significa que no sea posible hablar en ningún momento de *genes para*, sino que es necesario establecer algunos puntos importantes antes de hacer afirmaciones de este estilo.

Según autores como Kaplan y Pigliucci (2001) ningún tipo de asociación que sea determinada mediante un estudio estadístico, a pesar de que la correlación sea fuerte, puede ser siquiera evidencia suficiente para denominar un *gen para*, se necesita mucha más información como para poder hacer una aseveración de ese tipo. Para lo cual idealmente proponen que:

- 1) Exista una asociación estadística entre el gen y su efecto en el fenotipo.
- 2) Es necesario conocer los aspectos más importantes en cuanto a la bioquímica del gen y las rutas metabólicas correspondientes del tratamiento.
- 3) Que el efecto que el gen produzca sea netamente sujeto de la actividad de la selección natural en la historia evolutiva reciente de la especie.
- 4) Que el mantenimiento del gen en cuestión dentro de la historia evolutiva reciente de especie sea consecuencia de (3).

De acuerdo a lo anterior, para el primer requisito vemos que las complejas relaciones entre los genes y los fenotipos no nos permiten hacer una correlación que

indique que los genes son *para* el tratamiento en cuestión, al menos no en el sentido que propone Dawkins. Luego, tenemos a las rutas metabólicas que obviamente sabemos son experimentalmente muy difíciles de determinar. No hay muchos organismos para los cuales contemos con el conocimiento de las rutas más relevantes o al menos las que estén más relacionadas con la expresión de los genes. Gran parte del hecho de no poder denominar a los *genes para* es debido a que las complejas relaciones que existen entre ellos, y sobre todo en aquellos ejemplos donde la regulación por medio de epistasis tiene efectos importantes, son de naturaleza poligénica. Es decir, no sólo existe un gen interviniendo en las características que presentará el fenotipo, sino hay uno o varios más incluidos en el proceso. Para lo cual Kaplan y Pigliucci proponen mencionar que un tratamiento de esta naturaleza debe ser más bien considerado como una “propiedad emergente” del proceso epigenético. En ese tipo de situaciones no es posible hablar de *genes para* dada la complejidad que existe al nivel de ontogenia, a pesar de que sea posible conocer la bioquímica del gen y las rutas metabólicas que éste sigue, puesto que no se conoce tampoco el rol adaptativo que puedan tener sus efectos; para lo cual se sugiere realizar análisis comparativos de filogenias de los organismos en cuestión.

Muchas características que son de importancia para el humano (como puede ser el caso de la habilidad para leer, o una aptitud para hacer cálculos matemáticos avanzados) es posible que muy raramente lleguen a cubrir los requisitos anteriormente mencionados, si es que se puede lograr, por lo que es muy probable que no existan *genes para*, sino que más bien estemos tratando con complejos sistemas de relaciones entre genes. Es decir, no debemos esperar encontrar genes en específico, en vez de ello habremos de encontrar genes asociados que aportan información a las características que presenta el fenotipo. Así tenemos que es mejor ver el tratamiento como una propiedad emergente del proceso epigenético, ya que existen muchos elementos que pueden complicar aún más la difícil tarea de búsqueda que la frase “*genes para*” implica.

Una de las características que hemos mencionado es la capacidad de los genes de poder tener efectos importantes no sólo en un aspecto en especial del fenotipo, sino en muchos otros más, es decir, codificar para más de una característica. Esta propiedad se

llama **pleiotropía**, la cual probablemente constituye una de las propiedades más reconocidas del concepto diferencial de gen. Vemos luego que si tomamos en cuenta este tipo de factores la situación se vuelve cada vez más compleja, sobre todo si también consideramos las interacciones gen-gen (también denominada como **epistasis**), o lo que se presenta cuando algunos genes involucrados se encargan de inhibir a otros genes que aparentemente también se encuentran involucrados, funcionando algunas veces de antagonistas y otras de inhibidores, como se ha demostrado en estudios de fisiología y biología molecular en *Arabidopsis thaliana*, donde varios genes interactúan en complejas redes para determinar el tiempo de floración (Kuittinen *et. al.* 1997), no siendo siquiera un aporte equitativo (pues sólo de esta manera podríamos decir que existen *genes para* en algún sentido).

Si bien propiedades como la pleiotropía y la epistasis tienen efectos sobre la expresión genética, éstas propiedades ven su actividad igualmente regulada por el ambiente. El ambiente en el que se desenvuelven los organismos puede regular los efectos que llegan a tener los genes así como las interacciones que entre estos se presenten (Pigliucci 1996; Scheiner 1993). Esta situación es muy bien apuntada por Keightley y Kacser (1987; p. 322): “*La dominancia y cualquier posible diferencia son por lo tanto una función del ambiente en el cual los organismos están operando, así como de sus genes*”. Esto nos quiere decir que, al menos en el caso de los eucariontes, no sabemos mucho acerca de los complejos sistemas de relación entre el ambiente y los genes y el rol que éstos últimos juegan en el desarrollo de los fenotipos.

### **La plasticidad fenotípica y su relación con los genes.**

El aspecto causal que estamos tomando en consideración es una combinación de factores que hacen del camino del genotipo al fenotipo una red de interacciones que conllevan un control epigenético, el cual moldea el desarrollo de los organismos a partir de la información que en ellos está contenida, de esta manera podemos entender a los genes como mecanismos y no solamente como causas. Esta idea queda expuesta de la siguiente manera por Matt Ridley en su *Nature via Nurture*: “*Es más cómodo creer que el ambiente*

*es más maleable que la herencia, y esto es erróneamente basado en la noción de que el ambiente es todo lo que ocurre después del nacimiento y herencia lo que ocurre antes*” (Ridley, 2003, p. 182). Es posible que el gen no sea central para el fenotipo en lo absoluto, sin embargo, comparte al menos la responsabilidad con otros factores. Los genes no son el único elemento causal de las proteínas. Esto es, los genes son elementos causales que combinados con la acción de algunos otros tantos factores causales (las condiciones de la red epigenética en cuanto a regulación, la disponibilidad de aminoácidos, transcriptasas, etc.), pueden influenciar de manera importante el producto de estos genes, así, no podemos decir que este producto del gen es sólo y específicamente producido por el gen. Sin embargo, es un error que comúnmente se comente cuando se habla de los genes y sus productos. Especialmente cuando hablamos de algo que es genético y que nos lleva a pensar en algo que no puede ser modificado o cambiado.

Biólogos evolucionistas han ido poco a poco aceptando esta conclusión tomando en cuenta el papel de la epigénesis o también llamado control epigenético. El control epigenético nos explica que, los fenotipos (y el comportamiento) son el resultado de una continua y compleja interacción entre los genes y el ambiente; así pues, los fenotipos pueden ser considerados como el resultado de “propiedades emergentes” del sistema del desarrollo, y no solamente se explican por la acción de los genes. Esta idea no fue considerada sino a partir de la década de los 1990’s que en considerables estudios científicos de distintas ramas se fue implementado esta nueva forma de razonamiento en la cual el ambiente y los fenómenos del desarrollo se integraban nuevamente a la escena evolutiva. En biología evolutiva se propició un gran interés y atención a la plasticidad que aparentemente suelen experimentar los fenotipos a lo largo de un sinnúmero de ambientes (Sultan, 1992). Finalmente, la influencia del ambiente es igualmente reconocida, inclusive para las etapas de desarrollo más tempranas (Van der Welle, 1999; Gilbert, 1997).

Las “propiedades emergentes” de los organismos, una vez que han tomado parte los genes así como el ambiente (interno y externo), ilustran una inhabilidad de poder hacer predicciones a partir del conocimiento que se derive de una ruta metabólica particular. No solamente los *valores selectivos* que tienen los genes son propiedades emergentes, sino que

también los genes en sí mismos son unidades que emergen de las poblaciones como resultado de las interacciones que entre estas ocurren. Por lo que es necesario tomar en cuenta las redes bioquímicas de niveles de organización mayores y hacer una integración de toda la información; esta idea desafía la tesis tradicional del Determinismo Genético. Como lo señala Sui Huang: *“La extensión de tal acercamiento a las grandes redes de organismos superiores tendrá que incorporar múltiples niveles de interacciones, incluyendo todo tipo de interacciones intercelulares”* (Huang, 2000; p. 471).

No es posible hacer afirmaciones apresuradas y concentrarnos totalmente en la información que proveen los estudios genéticos. Los demás factores involucrados (como los factores citoplásmicos que dominan en gran medida los procesos de expresión fenotípica) afectan en una variedad de maneras la información con la que contamos, siendo de esta manera un tanto impredecibles los efectos de las interacciones entre las diferentes proteínas. Por ejemplo, se ha demostrado que los procesos de señalización celular que disparan la traducción del ADN dependen de algunos estímulos extracelulares (Silverman, 2004); inclusive la cromatina puede ser regulada mediante esta forma. Bombas transmembranales, porosidad y moléculas receptoras, todas ellas afectan las señales que inducen el desenrollamiento de los supernudos del ADN, influyendo en la acción de las histonas y de sus enzimas asociadas que contribuyen a los procesos de transcripción. Esto nos permite concluir que el tipo de explicaciones que se habían estado relatando en la historia de la biología, centradas en un interaccionismo genético, son desafiadas con el nuevo conocimiento adquirido acerca de la dinámica que siguen los genes en relación con su ambiente interno y externo. Esto nos permite ver que el Determinismo Genético como tesis formal no cumple con las expectativas planteadas, y que más bien es una simplificación de un sistema de complejidad que apenas comenzamos a comprender en cuanto al camino que va del genotipo al fenotipo. Es decir, la acción de los genes y el ambiente es conjunta, por tanto no es posible alegar un determinismo genético porque no es un papel exclusivo de los genes el “moldeamiento” del ser humano.

Este tipo de investigación es posible que ayude a centrar la atención en la manera en la cual los genes y el ambiente se ven relacionados y moldean el desarrollo ontogénico de

los organismos igual que su historia evolutiva. Ya que los mal entendidos, que son los que realmente causan problemas, alteran la visión pública y crean expectativas ilegítimas que el poder del estudio genético no pueda llegar a cubrir. Es este tipo de situaciones las que eventualmente pueden influir en las decisiones públicas y en la elección de diversas políticas sin tomar en cuenta el actual estado del conocimiento de la relación entre los genes y el ambiente. Así, se abren las puertas a una generación de científicos con la capacidad de orientar la nueva investigación a una con mayor información y con mayor atención teórica y experimental, que requerirá recopilar conocimiento proveniente de áreas como la estadística, la bioquímica, e inclusive de la historia así como de la ecología con la finalidad de hacer de la actividad de la investigación una actividad que incluya un enfoque interdisciplinario y multifactorial en el estudio de los procesos de transcripción y expresión génica. De esta manera esta visión será útil para cumplir distintas metas como: 1) descubrir nuevos genes, 2) tener idea de la cantidad de genes que realmente se encuentran presentes en el genoma, y finalmente, 3) comenzar a comprender de la importancia de los genes en cuanto al proceso evolutivo.

## Capítulo 3

### El Determinismo Genético y su relación con la Sociedad

*“El determinismo genético tiene un fuerte asidero en la imaginación pública. Sus raíces ideológicas se remontan, muy profundo en el inconsciente colectivo de nuestra cultura, hasta la teoría de Darwin de la evolución por selección natural, que a su vez es un producto del clima socioeconómico y político de la Inglaterra victoriana. La creencia en la constancia y fijeza de los genes reemplazó a la creencia de un alma inmortal, cuando la ciencia tomó el lugar de la religión” (Mae-Wan, 2001b, p. 89).*

#### **El ascenso del determinismo en la sociedad.**

El surgimiento de la idea determinista en la ciencia tiene su origen muy atrás en la historia de la humanidad, desde las ideas vitalistas y mecanicistas, como los inicios de una estrategia de explicación, hasta lo que hoy en nuestros días constituye el establecimiento de la ciencia moderna con la veneración del “método científico”, y con los procedimientos moleculares. Sin embargo, el determinismo es más que un simple modo de explicar los fenómenos de la naturaleza, es una filosofía de cómo vemos el mundo que nos rodea y cómo nos relacionamos con él. Y es precisamente con base en la comprensión de cómo concebimos nuestro entorno la que nos habla mucho del desarrollo de la humanidad a lo largo del tiempo, como se ha moldeado su historia y hacia donde se dirige.

El historiador Jacques Barzun sostenía que uno de los momentos cruciales de la historia moderna se produjo hacia 1859, cuando hicieron su aparición el *Origen de las especies*, de Charles Darwin, la *Crítica de la Economía Política*, de Karl Marx, y *Tristán e Isolda*, de Richard Wagner. Juntos dominaron la época, y sus teorías moldearon un siglo de pensamiento que continua hasta nuestros días (Mae-Wan, 2001). Y es que el “materialismo mecanicista” de estas obras expresa la condición dominante de la época: la materia como fuente y sustancia del universo.

El gran acervo de conocimientos que le han brindado al ser humano una mejor comprensión del mundo se refleja en gran medida en el éxito que han obtenido las metodologías modernas de la ciencia. No obstante, hay ciertas formas de explicar los

fenómenos de la naturaleza que tienen una historia muy extensa, es decir, han permanecido en la mente humana desde hace largos años y se han filtrado hasta nuestros días. El “materialismo mecanicista” (la doctrina por medio de la cual Descartes explica los fenómenos como mecanismos y compara al mundo, animado e inanimado, con una máquina) cree firmemente en el poder de la abstracción y la reducción para darle sentido a la desordenada complejidad de los procesos reales, con el fin de que el hombre pueda controlar y dominar mejor la naturaleza (Mae-Wan, 2001). Esta imagen cartesiana del mundo es la que ha llegado a dominar la ciencia y a funcionar como la metáfora fundamental, ya sea de los individuos o de la gran máquina en que están inmersos. La reorganización radical de las relaciones sociales que marcó el surgimiento de la economía burguesa de los siglos XVII y XVIII tuvo como fenómeno el desarrollo paralelo de esta ideología representativa de estas nuevas relaciones. Es decir, esta ideología, hoy predominante, es una reflexión sobre el mundo natural por parte del orden social que se estaba construyendo y una filosofía mediante la que el nuevo orden capitalista buscaría justificación y fundamentación. Ahora bien, lo que no es tan claro, es el modo en el que el mundo social estructura la naturaleza de este conocimiento científico. Para entender los intereses y métodos explicativos de la ciencia burguesa es necesario comprender los fundamentos de la ideología burguesa del siglo XVIII.

En un principio las civilizaciones humanas no sostenían una relación de dominio con la naturaleza, más bien se adaptaban a las condiciones que reinaban en una región y aprovechaban los recursos que tenían a su alcance. No existía la sobreexplotación, y muchos menos fenómenos de explosión demográfica como los que observamos hoy en día. Para Lewontin, la razón por la cual no había un nivel de explotación y manipulación excesivo se debía a que no había la tecnología que les permitiera la total manipulación del medio, así que había más bien una relación de coexistencia que daba lugar a una actitud de respeto para con el mundo (Lewontin, *et. al.* 1991). En sistemas de producción como el sistema feudal (donde el mundo era uno estático con respecto a las relaciones sociales, y la naturaleza y la humanidad existían para servir a Dios) la gente conocía el entorno, pues habían nacido ahí, trabajaban el medio que los rodeaba y allí vivían. Las civilizaciones precapitalistas no eran dominantes y la naturaleza era vista como algo constante.

Eventualmente el sistema feudal tendría que dar un cambio para poder sostener un sistema mercantil que fue en incremento y que cada vez exigía mucha mayor producción de la que se podía sostener en aquel entonces. Por lo que el surgimiento de nuevas técnicas que permitieran mayor eficiencia en los sistemas de producción era necesario, este hecho implicaba una mayor explotación de recursos y alteración del medio para producir cada vez más en menos tiempo *“cuando el cambiante modo de producción que representaba el emergente orden capitalista exigía soluciones para un conjunto de problemas enteramente técnicos”* (Lewontin, *et. al.* 1991; p. 56).

Esta dinámica de satisfacción sobre las demandas de la sociedad experimentó el ascenso del capitalismo y la expansión del comercio, en un tiempo en el cual se creía que el éxito se encontraba a través de la competencia en el mercado libre. Así, la naturaleza y la propia humanidad se convierten en una fuente de materias primas a ser extraídas, en una fuerza extraña a ser controlada, domesticada y explotada en interés de las clases dominantes. Luego entonces el cambiante modelo de producción que necesitaba generar soluciones a una sociedad cada vez más demandante de productos y servicios, encontraría su salvación en una de las transiciones más importantes de la humanidad: la ciencia. El nuevo conocimiento científico se caracterizaba por ser un conocimiento activo, dicha idea tiene sus orígenes en los escritos de Francis Bacon, que propone una idea de conocimiento que nos permita manipular la naturaleza para transformarla y vivir mejor, sin limitarse a la simple contemplación del mundo natural. Ejemplos de ello son el desarrollo de la física moderna, primero con Galileo y después con Newton, que ordenó y atomizó el mundo natural. Y después, en el campo de la biología, Descartes vendría a comparar a los organismos con máquinas. Podemos situar su más grande aplicación hacia el siglo XIX cuando en Inglaterra comienza a aparecer el Capitalismo y los nuevos procesos de industrialización (Villoro, 2000).

La producción industrial era llevada a cabo por los trabajadores asalariados que vendían su fuerza de trabajo a los propietarios del capital, permaneciendo distanciados de la naturaleza. Es decir, ya no existía esa relación directa con el entorno como lo existía en el Feudalismo, ahora había intermediarios. En este nuevo panorama, el que posea los medios

de producción (la naturaleza, máquinas, herramientas, instalaciones) controla las formas de producción, y es en este paso de los sistemas precapitalistas (el Feudalismo, por ejemplo) a un sistema propiamente capitalista que la idea de dominio comienza a difundirse.

Debido a este fenómeno, la reorganización social que imponía el nuevo sistema de producción marcó el desarrollo de una reflexión sobre el mundo natural en el que la ciencia cimentó algunos principios básicos. Los productos y servicios que surgen de la aplicación de los conocimientos científicos son considerados como los medios por los cuales se mide el progreso social. La aplicación del “método científico”, que constituye la manera racional de proceder en la resolución de diversos problemas, permite que sea precisamente la obtención de estos productos y servicios el indicador de progreso en la medida en la que proporcionan mayor placer o felicidad al ser humano, pero esta visión más bien se encuentra relacionada con el sistema de producción, más que con la tarea de la ciencia.

La ciencia moderna se vuelve aliada del Capitalismo para cubrir sus necesidades de producción, mientras que las personas son vistas como meras unidades de consumo y trabajo productivo. De esta manera la ciencia es capaz de saciar las necesidades de una sociedad: la obtención de cada vez mayor número de objetos (Whitehead, 1967). Esto nos deja ver que a pesar de que el trabajador se apropia cada vez más del mundo externo su relación con éste es de simple dominio y control. Para el desarrollo de esta nueva sociedad cada vez más industrializada, y los nuevos métodos de análisis científicos, el entorno no era muy relevante sino era a la luz del fin deseado.

*“La antigua visión del mundo fue reemplazada por una gama de nuevas abstracciones en las que un conjunto de fuerzas abstractas que actuaban entre unas masas atomísticas e invariables subyacía a toda interacción entre los cuerpos”.* (Lewontin, et. al. 1991; p. 60). Según Sohn-Retchel (1978) estas abstracciones eran un paralelismo del mundo del intercambio de mercancías en que el nuevo capitalismo estaba comprometido. Así pues, la ciencia en desarrollo de los siglos XVIII y XIX se dirigía a un materialismo científico más totalizador. Aunque las ideas habían cambiando y se iban haciendo cada vez más sofisticadas, debido al desarrollo de la física y el desarrollo del nuevo capitalismo, el

enfoque y la visión que se tenía del mundo siguió siendo reduccionista, la materia conservaba el papel principal, y la explicación por medio de mecanismos era la manera por excelencia de descripción y comprensión de los fenómenos.

Según los racionalistas del siglo XIX el cometido principal de la ciencia era catalogar los estados del mundo. Pues si se conseguía una descripción lo suficientemente completa de todas las partículas en un momento dado, todo se haría predecible (Lewontin, *et. al.*, 1991). Pese a ello, para completar el cuadro reduccionista faltaba un elemento sumamente importante, que llegaría a terminar el escenario materialista: estudiar el problema de la naturaleza y el origen de la vida en sí mismo. Ya pues se pensaba que, si los seres vivos fueran simple y sencillamente sustancias químicas, sería posible recrear la vida a partir de una mezcla físico-química de elementos apropiados: “*El universo estaba determinado y las leyes del movimiento se cumplían con precisión en una escala que abarcaba desde los átomos hasta las estrellas. Los organismos vivos no eran inmunes a estas leyes*” (Lewontin, *et. al.* 1991; p. 64.).

En la Parte V de sus *Discursos* de 1637, Descartes compara el mundo, animado e inanimado, con una máquina (la *bête machine*), (Lewontin, *et. al.* 1991). Las máquinas pueden desmontarse para ser estudiadas y luego ser reconstituidas. Cada parte cumple una función separada y analizable, y el todo es capaz de operar de un modo regular y ordenado, que finalmente puede ser sometido a descripción mediante el funcionamiento de cada una de sus partes separadas y que se afectan mutuamente. Es decir, a cada objeto le corresponden valores o propiedades, que bajo la idea del sistema de producción en desarrollo, bien podían ser intercambiadas en el libre mercado. De esta manera el modelo de máquina de Descartes pronto fue ampliado de los organismos no humanos a los humanos, siendo estos últimos considerados como unidades de trabajo, como meros engranajes de una fábrica en producción. Ahora bien, como se tenía claro que muchas funciones humanas eran análogas a las de otros animales, también las funciones humanas eran reducibles a mecanismos. Por ejemplo, Lavoisier demuestra que los procesos de respiración y las fuentes de energía vital eran exactamente análogos a la combustión de un fuego de carbón (la oxidación de sustancias alimenticias en los tejidos corporales), y fue

quizás ésta la aproximación más notable de que las sustancias de que se componen los organismos son sólo sustancias químicas ordinarias, aunque complejas (Lewontin, *et. al.* 1991). Los mecanicistas podían hacer afirmaciones programáticas sobre el reduccionismo de la vida a la química, sin embargo, no contaban con los instrumentos necesarios para el análisis de las diferentes moléculas biológicas (proteínas, lípidos, ácidos nucleicos), sería hasta un siglo después que se podría clarificar la naturaleza y estructura de estas moléculas.

Cuando se desarrolla la teoría de la evolución, un nuevo factor tomaba parte en la explicación de los procesos de la vida: la dimensión del tiempo (Jacob, 1977). La teoría evolutiva representa, en cierto sentido, la apótesis de una visión burguesa del mundo, así como su subsecuente desarrollo y las contradicciones de esa visión del mundo. La descomposición del antiguo orden feudal estático y su sustitución por un capitalismo en continuo cambio y desarrollo contribuyó a introducir el concepto de mutabilidad en el campo de la biología (Lewontin, *et. al.* 1991). Sin embargo, las afirmaciones de los muchos fisiólogos y bioquímicos más importantes el siglo XIX se caracterizaron por su radical programa reduccionista.

Sería Charles Darwin (1859) quien estructuraría los mecanismos del proceso evolutivo en términos de la selección natural. Darwin pensaba que la naturaleza “selecciona” a los organismos más aptos, de manera que los mejor adaptados a su medio ambiente tuvieran mayores posibilidades de supervivencia como para a su vez reproducirse, favorecidos naturalmente con cualidades superiores, que pueden pasarse a la siguiente generación (del mismo modo, los que tiene cualidades inferiores son eliminados), y que ello es lo que proporciona la fuerza motriz del cambio evolutivo.

La teoría de la selección natural y el reduccionismo fisiológico eran manifestaciones de un programa de investigaciones suficientemente explosivas y poderosas como para ocasionar la sustitución de una ideología –la de Dios- por otra: una ciencia reduccionista y materialista (Lewontin, *et. al.* 1991). Estas ideas sobre la evolución tuvieron gran impacto en la sociedad, pues el conocimiento científico daba cuenta de una nueva dinámica en el mundo. De esta manera el orden social debía seguir siendo considerado el resultado de

fuerzas externas a la humanidad, pero ahora dichas fuerzas eran naturales, en vez de ser deístas. La evolución era considerada como un permanente cambio progresivo y ascendente a un estado más perfecto. De la misma manera que en la naturaleza existía esta lucha por la supervivencia, los seres humanos podían ascender en la jerarquía social en virtud de sus propios esfuerzos, según la idea liberal del nuevo orden social.

Debido a la falta de una teoría del gen, el darwinismo no era capaz de explicar los mecanismos de herencia de las variaciones genéticas favorables. La solución llegaría con el desarrollo de la genética hacia el siglo XX y el redescubrimiento de los trabajos realizados por Mendel en 1866. Mendel, quien propuso que las cualidades (darwinianas) son inherentes a factores constantes (más tarde llamados *genes*) que dan origen a los caracteres de los organismos, vendría a aportar el mecanismo de herencia del cual carecía la teoría de Darwin (Mae-Wan, 2001).

La combinación de la genética mendeliana y la teoría de Darwin resultó en la “síntesis neodarwiniana” de los años treinta y en los reiterados intentos de dividir los fenómenos biológicos en causas discretas y esencialmente aditivas, genéticas y ambientales. El paradigma del determinismo genético, según Mae-Wan, hoy en día es un neodarwinismo con mayúsculas. Un *paradigma* según Kuhn (1962) es un modelo o un esquema mental; es un sistema integral de pensamiento que sigue una comunidad científica, desarrollado en torno a una idea central. Un paradigma científico, que está construido obviamente alrededor de una teoría científica, puede ser tan penetrante como para propagarse en todas las otras disciplinas e impregnar la cultura popular. Estos modelos son realizaciones científicas universalmente reconocidas que, durante cierto tiempo, proporcionan modelos de problemas y soluciones a una comunidad científica (Kuhn, 1962). El determinismo genético es de esta naturaleza, y debe su origen a la idea cartesiana del mundo que lo compara con una máquina y busca explicaciones por medio de mecanismos (Mae-Wan, 2001).

Buena parte el orden social encamina el desarrollo científico, y a su vez, el desarrollo científico moldea el pensamiento de la sociedad. Esto es, la ciencia, como creación social, está sujeta a cambios, y es ella misma la que puede originarlos dado que se interrelaciona con las demás actividades humanas. Ahora, lo que es importante hacer notar en esta visión del determinismo genético, es que la materia conserva aún un papel dominante, es decir, esa idea de una entidad física como punto y núcleo de un sistema en el que la dinámica es similar al funcionamiento de una máquina, y que por medio de sus partes o engranajes, los cuales pueden ser comprendidos de manera independiente, entenderemos cómo funciona el todo. Así, estudiando las partes podemos llegar a hacer una descripción suficiente, completa y total del sistema.

Debemos recordar que el hecho de que la máquina haya sido tomada como modelo para los organismos y no al revés es sumamente crucial, pues como se menciona en *No está en los genes*: “La máquina es un símbolo tan característico de las relaciones productivas burguesas... Los cuerpos son unidades indisolubles que pierden sus características cuando se les divide en partes” (Lewontin, *et. al.* 1991; p. 62.). Este hecho se ha establecido cada vez con mayor fuerza, siendo aparentemente el paradigma dominante de nuestra época. Su incidencia es la consecuencia de un desarrollo, no solamente científico, sino también de índole social, económica y política.

Ahora bien, es precisamente debido a la necesidad de responder a una autojustificación de la estructura social, que el determinismo genético tiene su origen. Es decir, tiene como fundamento evitar un desorden social haciendo acopio de la idea de libertad, y más específicamente, a la idea de igualdad social. El orden social que permanecía debía continuar siendo considerado el resultado de acciones de fuerzas externas a la humanidad, esas fuerzas se alegaban ser naturales. Así, en el nuevo orden social, las desigualdades son consecuencia directa de las diferencias entre los individuos, esto es, diferencias en su carga genética; cualquier individuo puede alcanzar el éxito en la sociedad, pero para conseguirlo dependerá de sus capacidades naturales individuales (Lewontin, *et. al.* 1991). Pero la idea de igualdad es más que nada una idea de apoyo, más que en contra, de una sociedad desigual al situar las causas de desigualdad en la naturaleza de los

individuos, más no en la estructura social, esto es, permite que las distinciones arbitrarias se manifiesten por sí mismas, dado que son distinciones naturales. Esencialmente los deterministas biológicos responden que las vidas y las acciones de los hombres son consecuencias directas e inevitables de las propiedades bioquímicas de las células que constituyen al individuo, y que éstas características están a su vez determinadas por los genes que posee cada individuo. Por último, todo comportamiento humano (y, en consecuencia, toda la sociedad humana) está regido por un continuo de determinantes que van del gen al individuo y, de este, a la suma de comportamiento de todos los individuos, esto es, la sociedad humana (Lewontin, *et. al.* 1991). De esta manera la sociedad burguesa conserva las diferencias que existen sobre riqueza, status y poder. Sin embargo, estas diferencias de riqueza, status y poder no son “naturales”, sino obstáculos impuestos socialmente a la construcción de una sociedad en la que el potencial creativo de todos los ciudadanos sea empleado en el beneficio de todos.

La idea de igualdad ha sido transformada en una arma ideológica del nuevo orden social; primero se afirma que las desigualdades sociales son producto y consecuencia directa de las habilidades, capacidades y méritos que posean los individuos. Es decir, cualquier individuo es capaz de vender su fuerza de trabajo y prosperar en la escala social, sin embargo, conseguirlo o no, depende de las virtudes y capacidades intrínsecas. En segundo lugar tenemos que el determinismo biológico o genético indica que los triunfos o los posibles fracasos que se susciten en las actividades productivas humanas se encuentran, en gran parte, codificadas en los genes de cada uno de los individuos. Finalmente, este tipo de argumentos son los que nos conducen por necesidad a la creación de jerarquías, ya que la naturaleza y las diferencias biológicas entre individuos se encuentran determinadas, y por tanto existen diferencias de status, riqueza y poder. Estos tres elementos son necesarios para una completa justificación del orden social, y el intento de remediar estas diferencias por medios sociales es ir “contra la naturaleza”. Es físicamente imposible cambiar el *status quo* en cualquier forma, así como moralmente erróneo intentarlo, vemos que la voluntad humana es impotente ante las leyes de la naturaleza y de la sociedad.

Como ya hemos mencionado, el determinismo biológico resulta ser un neodarwinismo en mayúsculas. Es decir, lleva la idea de lucha por la existencia y la herencia de las características al campo de una sociedad productiva, donde la combinación de ambas configuran la estructura del determinismo genético: *“Los sujetos activos mejores y más emprendedores obtienen habitualmente una parte desproporcionada de las recompensas, mientras que los menos afortunados son desplazados a posiciones menos deseables”* (Wilson, 1975). El determinismo biológico, como lo hemos venido describiendo, extrae gran parte de su ideología de la noción de lucha por la supervivencia y la herencia de las características superiores o favorecidas, en una guerra de todos contra todos. Constituye una forma de liberación de culpa y justificación del orden social, Melo-Martín (2003; p. 1186) nos dice al respecto: *“(El determinismo genético) no tiene el poder suficiente, inclusive cuando nosotros deseáramos que lo tuviera, para cegarnos al simple hecho de que muchos de nuestros más severos problemas son consecuencia de nuestras prácticas e instituciones sociales”*. Si bien el conocimiento es socialmente construido, debido a que nuestras mentes están socialmente construidas, y el pensamiento individual sólo se convierte en conocimiento por medio de un proceso de aceptación dentro de la sociedad (Levins y Lewontin, 1985), las ideologías dominantes que marcan el camino de la investigación teórica de los fenómenos son igualmente construcciones sociales. Este ha sido ciertamente el caso en biología, el extraordinario éxito y progreso de las prácticas y estudios moleculares son la consecuencia del programa reduccionista, dado que es el supuesto en el que se ha construido la ciencia y la biología. El modo de análisis cartesiano del mundo físico y biológico y las ideas mecanicistas como estrategia metodológica han logrado perdurar hasta las prácticas biológicas de nuestros días, y el determinismo genético o biológico ha sido un poderoso medio para explicar las desigualdades de status, riqueza y poder observadas en las sociedades capitalistas industriales contemporáneas y definir los “universales” humanos de comportamiento como características naturales de estas sociedades.

## **La ciencia reduccionista y la biología molecular.**

El desarrollo de una ciencia reduccionista desde los inicios del siglo XIX ha permitido la propagación de una visión del mundo que no sólo es reduccionista, sino que es manipuladora y explotadora. Es reduccionista porque ve al mundo como un conglomerado, y niega la importancia de las totalidades orgánicas como los organismos, los ecosistemas y las comunidades, es decir, lo ve de una manera fragmentada. Ahora bien, cae en lo manipulador y explotador en el sentido de que ve a la naturaleza y al hombre como objetos a ser manipulados y explotados en busca de ganancias, y a la vida simplemente como “*una lucha darwiniana por la supervivencia de los más aptos*” (Mae-Wan, 2001b; p. 32).

La ciencia reduccionista –según afirma Mae-Wan- es “*notoriamente mala para tomar en cuenta de modo apropiado las interconexiones orgánicas, las interrelaciones ecológicas y sociales, que mantienen la integridad del sistema viviente*” (Mae-Wan, 2001b; p. 70). Sin embargo, el éxito del modelo mecánico, a diferencia del fracaso del modelo holístico, ha producido una visión hipersimplificada de las relaciones entre las partes y el todo y entre las causas y los efectos. Según Lewontin (1998) el éxito del reduccionismo ingenuo y del análisis simplista se debió en parte a la naturaleza, por así decirlo, oportunista del trabajo científico. Esto es, la ciencia de nuestros días resuelve los problemas para los cuales sus métodos e instrumentos son adecuados, y los científicos pronto aprenden a plantearse sólo las cuestiones que pueden ser resueltas.

El determinismo genético (como la forma más radical de la ciencia reduccionista) concibe a los genes como la esencia más fundamental del organismo, supone que mientras el ambiente es maleable y flexible, los genes por su parte son entidades fijas e inmodificables, que pueden ser separadas de la influencia ambiental. Más aún, supone que la función de cada gen puede ser definida de manera independiente de todos los demás. Y que todo, desde el cociente intelectual, hasta la criminalidad puede explicarse invocando a los genes responsables, que claramente fueron seleccionados naturalmente a favor o en contra. Por lo tanto, es posible ubicarlos en el genoma, identificarlos y, una vez

identificados, ser seleccionados por los seres humanos, con la finalidad de corregir y eventualmente mejorar las características que nos hacen humanos.

Hacia los años cincuentas fue posible describir y explicar, en el sentido mecanicista, el comportamiento de los órganos individuales del cuerpo: músculos, hígado, riñones, etc. en términos de las propiedades y del intercambio de moléculas individuales: el sueño mecanicista (Lewontin, *et. al.* 1991). Así, genetistas y fisiólogos mecanicistas podían afirmar que comprendían al mundo basándose en la composición, la estructura, la dinámica y la información que aportan las moléculas de los organismos. Las moléculas y los intercambios energéticos entre ellas y la información que eran capaces de transportar representaban el triunfo del mecanicismo, y se encontraba expresado en lo que Francis Crick denominaría el “Dogma Central” de la biología molecular: ADN → ARN → proteína<sup>2</sup> (Crick, 1957). Esto es, el flujo de la información es unidireccional entre estas moléculas, y se le da una supremacía a la molécula hereditaria. Así pues se expandía la idea de que las moléculas y la actividad celular producen el comportamiento debido a que la línea que va desde los genes hasta fenómenos como la violencia y la esquizofrenia es continua.

Este gran desarrollo que ha experimentado la biología molecular con el empleo de estrategias esencialmente mecanicistas y las cada vez más innovadoras técnicas de análisis en el laboratorio de los últimos 20 años, nos han permitido examinar e interpretar de alguna manera el “programa genético” de los organismos, específicamente el descubrimiento del código genético y las técnicas de ADN recombinante han facilitado la tarea, y nos han llevado a tratar la cuestión crucial de la relativa posibilidad de intervención en el mapa genético de los seres humanos, con el fin de darse mayores beneficios mediante el empleo de la recombinación genética. Esa tentadora capacidad de mejorar o perfeccionar el patrimonio genético de los seres vivos, en específico, el de los seres humanos, va más allá de los tratamientos estrictamente terapéuticos, también se habla del mejoramiento y modificación de características tales como: la piel, los ojos, la estatura, hasta la inteligencia o inclusive el carácter. Este potencial científico y la ambiciosa idea del *diseño* se han convertido no sólo en una meta importante, sino que aparentemente se está transformando

---

<sup>2</sup> Según Crick, “una vez que la información ha entrado en la proteína, no puede volver a salir”.

día con día en el elemento central y el potencial fin práctico del conocimiento biológico adquirido. Esta nueva revolución biológica nos lleva a considerar tres elementos necesarios y claves: 1) la aparente perspectiva de énfasis en el diseño de los organismos, 2) el poder real de la biología molecular, y finalmente 3) la integración y la cohesión del conocimiento biológico. Por lo tanto en este apartado trataré de aclarar cuál es el alcance real de los trabajos basados en la biología molecular.

Primeramente es necesario reconocer que el énfasis en el diseño de los organismos se encuentra íntimamente relacionado, como lo hemos mencionado anteriormente, con los descubrimientos de la biología molecular de las últimas décadas, especialmente con el surgimiento de la ingeniería genética. Desde el descubrimiento de la doble hélice de ADN hasta los estudios de las llamadas técnicas de ADN recombinante la ingeniería genética no ha parado de sorprendernos, y nos ha aportado información que en nuestros días constituye la base y argumento suficiente, para muchos, en favor de la aplicación de un reduccionismo (la división de las partes de un sistema a sus componentes funcionales) en el campo de las ciencias biológicas. Claro está que dicho paradigma se encuentra en un extremo que más bien se refiere a un determinismo genético, cuya interpretación nos dice que los niveles de organización mayores (desde organismos hasta comunidades enteras) pueden ser completamente comprendidos a partir del comportamiento de sus genes particulares. Los experimentos realizados por David Jackson, Robert Symons y Paul Berg en 1972 se consideran un parteaguas en la historia de las posibilidades de manipulación genética. Estos científicos pasaron a la historia cuando obtuvieron por primera vez una molécula de ADN que contenía genes de organismos provenientes de diferentes especies biológicas (genes de fagos lambda y el operón de galactosa de *E. Coli*) que podía replicarse numerosas veces en una bacteria (Jackson, Symons, y Berg, 1972). El impacto fue notable y pronto las promesas de la ingeniería genética y la posibilidad técnica de alterar el genotipo de un organismo se encontraban cada vez más cerca. En el caso de los seres humanos los aspectos médicos resaltaron evidentemente a la vista y eventualmente los aspectos éticos sobre el mejoramiento de la dotación genética y la eliminación de ciertos padecimientos en los individuos permitieron la introducción de la idea de diseño. El desarrollo de la ingeniería genética y, más en general, de la biotecnología, genera grandes expectativas, pero también

atrae la atención de los críticos al reduccionismo y al determinismo genético. Avances en las técnicas de diagnóstico genético y de reproducción asistida, en el desarrollo de fármacos que alteran el comportamiento, así como en la investigación de terapia génica o células troncales, todos ellos, inducen a pensar que numerosos problemas tanto médicos como de orden social podrán tener una pronta y eficaz solución.

Si bien es cierto que la biología molecular se ha encargado de otorgarle un valor excepcional a los genes, también ha sido la base para vislumbrar la naturaleza real del genoma, más allá de la que el “programa genético” sugiere. Irónicamente, a partir de la aplicación de este paradigma se ha descubierto que los niveles fundamentales de la vida son una compleja red de sistemas, y ahora podemos decir que el genoma es una red de genes y secuencias reguladoras, y no sólo una colección de alelos a lo largo de nuestro material genético (Vincenzo, 1995). Es un complejo sistema interactivo, lejos de ser un nivel fundamental invariable. La interacción de estos elementos en la red molecular son una clara muestra de que el proceso de interacción nunca ocurre para un solo gen, y mientras más niveles de organización tomemos en consideración, progresivamente una maquinaria interactiva más grande tomará escena. Este conocimiento ha ido transformando nuestra visión de la naturaleza, la ha ido moldeando gradualmente con respecto a los procesos del desarrollo y evolución de los organismos, y con ella ha dado paso al surgimiento de la visión epigenética y dialéctica del organismo.

La realidad está demasiado llena de contradicciones, es una realidad múltiple, que constantemente cambia, demasiado mutable, y no es posible elaborar una fórmula o conjunto de fórmulas que la pueda explicar. Nuestro pensamiento no puede ser cerrado, debe ser variable, siempre en constante cambio y preparado para detectar nuestra realidad en constante movimiento. Debemos reconocer que las fórmulas y leyes son aproximadas, limitadas debido a que, como lo afirman los dialécticos, todas las formas de existencia son transitorias y limitadas (Novack, 1976). No es posible permitir un determinismo que sobrepasa los límites de su utilidad ni forzar a la realidad objetiva, no es posible adaptarse a simples mecanismos como hacen y exigen algunos formalistas. Así, los avances moleculares, fuera de centrar la investigación científica a estos niveles esenciales,

rápidamente estamos aprendiendo que todas las cosas son limitadas y cambiantes. Los organismos evolucionan y eventualmente se desintegran, nada está terminado. Los organismos no terminan en los genes, en el código genético o en las secuencias del ADN.

La biología molecular ha mostrado tener gran poder de alcance en la resolución de problemas biológicos, el descubrimiento de la doble hélice, el desarrollo de la biotecnología y ahora la secuencia del genoma humano son algunos ejemplos, y parece que cada vez abre paso a numerosos rumbos con grandes saltos innovadores. Los logros de la biología molecular se han difundido por todos lados, sin embargo, es preciso detallar que no para todos los sistemas, ni en todos los niveles de organización, el tratamiento molecular es el ideal, de tal manera que es preciso mencionar cuál es el poder real de un estudio genético.

Los sistemas que se presentan en niveles de organización superiores ciertamente requiere de un cuerpo de conocimiento más integral que aquellos de niveles inferiores, por lo que el acercamiento molecular puede ser una aproximación inapropiada para resolver problemas biológicos de un orden de organización elevado (Vincenzo, 1995). Por ejemplo, un tratamiento molecular al fenómeno de sucesión que experimenta un bosque sería inapropiado (y muy probablemente imposible); ya que algunos de los procesos importantes en este nivel incluyen la comprensión de factores tales como: la competencia entre especies de plantas por luz y nutrientes, dinámicas de presa-depredador, actividad de descomposición, mecanismos de dispersión, etc., que ciertamente no puede alcanzar un estudio basado en ADN. La dinámica del sistema se encuentra mucho más relacionada con el conocimiento de los organismos del mismo, así como los factores ambientales que prevalezcan en la región. Por lo que los mecanismos causales se encuentran más bien fuera de la esfera molecular y del alcance del genoma. Es decir, los mecanismos causales se encuentran en otros niveles de organización, con alguna referencia a niveles cercanos o adyacentes que usualmente puedan tener relevancia. Ya que, si bien es cierto que los niveles superiores se construyen sobre los niveles inferiores, sólo es mediante el conocimiento de sus interacciones que podemos llegar a una comprensión del fenómeno, mediante el conocimiento de las propiedades emergentes y los efectos de las interacciones entre niveles que ya hemos mencionado. El énfasis en los estudios moleculares asume

regularmente que los caracteres fenotípicos son, o la manifestación de las diferencias entre alelos en un solo locus, o reducibles a los efectos aditivos de varios loci.

Los sistemas de niveles superiores no sólo requieren de un conocimiento más integral, sino que operan en largas escalas y son espacio-temporalmente más amplios (Vincenzo, 1995). Mientras que un estudio de sucesión en un bosque puede requerir de un seguimiento que dure cientos de años, un estudio molecular requiere de una escala de tiempo de segundos para procesos moleculares como la fotosíntesis asociada a los cloroplastos. Dadas las técnicas apropiadas, mucho del éxito del conocimiento a nivel molecular se debe aparentemente al desarrollo paralelo que los sistemas computacionales han experimentado, por lo que las tareas de análisis e investigación se han ido agilizando. Este veloz progreso en la biología molecular es de esperarse en comparación con los estudios que se realizan en ecología, desarrollo y evolución. Sin embargo, cabe aclarar que el valor del estudio científico no está en función del “progreso” que se alcanza en la medida en que es relativamente más preciso hacer predicciones.

Ahora bien, las entidades biológicas, entendidas como los niveles de organización de los que habla Wimsatt, surgen a partir de la integración progresiva de los niveles inferiores -los estados más básicos de la materia y los principios generales más aplicables- (Kolasa y Pickett, 1989), y estas entidades biológicas nunca son homogéneas. Los procesos y las estructuras que se presentan en niveles superiores de organización -los que constituyen estados más complejos de la materia- imponen algunas restricciones y barreras de tipo: genético, filogenético, del desarrollo, selectivas, y ecológicas (por mencionar algunas) a niveles inferiores de organización; este crítico aspecto lo ha pasado por alto la biología molecular reduccionista. Lo que esto significa es que no todas las potencialidades que observamos en los niveles inferiores pueden llevarse a su completa realización en el “nivel focal” ya que están sometidas a ciertos “filtros” de un orden mayor, a ciertos factores de control, que permiten la estabilidad del organismo como un todo, y permiten la conservación del fenotipo. El decir que la vida es un fenómeno jerarquizado se ha convertido en un lugar común entre los biólogos. Por lo tanto, se entiende que los fenómenos biológicos están constituidos por entidades más o menos individualizadas,

anidadas en diferentes niveles y, hasta cierto punto, con leyes y características propias y autónomas.

Por ejemplo, la actividad que se lleva a cabo en niveles inferiores tales como la actividad de elementos transponibles en el ADN, la proliferación no restringida de mitocondrias, o una división desmedida de células (cáncer) podría interferir en el éxito de los organismos si no hay límites a esta acción; para lo cual los niveles mayores deben de regular esta actividad y asegurar su integridad, independientemente de que esta acción sea favorable para los niveles inferiores. Así, en los vertebrados, los genes que intervienen en el control de la división celular (y que frecuentemente funcionan como receptores de hormonas) han sido asimilados por retrovirus para inducir un cáncer en sus hospederos (Loomis, 1988). Esto promueve la propagación del virus, y además nos muestra la importancia del control y la regulación sobre la división celular para la supervivencia del animal.

En el caso de fuerza evolutivas como la selección natural, ésta actúa directamente en niveles superiores de organización, los individuos proveen de variabilidad genética, y los organismos con alguna característica adaptativa son seleccionados. Los genes no pueden ser seleccionados individualmente, debido a que la selección natural actúa sobre el organismo como un todo. Sin embargo, algunas de las restricciones que presentan los niveles de organización superiores pueden tomar forma sobre un nivel inferior, es decir, los genes que aportan información para algunas enzimas particularmente cruciales en el desarrollo del individuo representan estructuras moleculares que han sido fuertemente conservadas debido a los límites que los niveles superiores imponen, prueba de ello es que la mayor parte de la bioquímica involucrada en el metabolismo básico de los organismos es compartida por procariontes y eucariontes. Para Goodnight, Schwartz y Stevens (1992) las unidades de selección relevantes son los individuos, los linajes, los grupos y las comunidades; para estos investigadores, la unidad y objeto de la selección natural es el fenotipo como un todo, donde los fenotipos no son los que le sirven a los genes, sino que lo que sucede es que la organización molecular que exhiben los organismos es producto de la selección de genomas como un todo. La estructura del genoma constituye una

organización que refleja la complejidad organizacional del fenotipo, es la representación de un organismo al nivel genético.

La lección aquí es que el completo entendimiento de un fenómeno requiere no sólo el conocimiento de cómo los atributos genéticos colaboran en el desarrollo de las potencialidades de niveles de organización superiores, sino que además de ello, los niveles de organización superiores son capaces de imponer barreras y organización a los niveles inferiores, las barreras impuestas a niveles inferiores se debe al hecho de que el proceso de desarrollo del sistema vivo debe mantener una coherencia interna (Mae-Wan, 2001b). Así pues, el alcance de la biología molecular sólo es a ciertos niveles, y se requiere de una integración del conocimiento, externo a la esfera genética, que permita la comprensión total del fenómeno biológico en cuestión. A pesar del éxito obtenido por el paradigma genético como una fuente de explicación y predicción, los procesos de control epigenético no son llevados a cabo al nivel de los genes, sino que residen más bien en niveles superiores de organización. De esta manera, el conocimiento de los genes y la organización del genoma ha llevado la aplicación del paradigma genético al punto de que es ahora un tanto inadecuada (Alberch, 1981).

Ahora bien, nos queda claro que las investigaciones propias de la biología molecular no son las únicas, ni las más adecuadas para todo tipo de tratamiento de un fenómeno biológico determinado, más bien depende del contexto y el caso que lo requiera. Asimismo es necesario hacer un análisis que englobe más allá de la esfera molecular, y que es necesario voltear a ver otros niveles de organización tratando de abordar una visión lo más amplia posible, dado que el nivel genético no nos aporta todas las respuestas. Luego entonces podemos centrar nuestra atención en las implicaciones que tiene el estudio genético como parte activa de los procesos de producción en la sociedad.

## **Los estudios genéticos y su influencia social.**

En nuestra cultura se prefieren las explicaciones que simplifican los procesos sobre las que reconocen que los fenómenos son complicados, inciertos y desordenados, sin una regla simple o una fuerza que explique el pasado y prediga el futuro (Lewontin, 2000). Así, uno de los males atribuibles a la forma de explicación reduccionista es precisamente su afán de simplificar, en lo que supone ser una visión científica, fenómenos complejos que requieren análisis y la consideración de numerosos factores y perspectivas.

El desarrollo de la ingeniería genética no sólo hace posible que los genetistas manipulen los genes, también resulta ser un poderoso instrumento de investigación que les permite estudiar el genoma de los organismos en formas que antes no eran posibles. Sin embargo, la industria todavía trata de vender ilusiones: diseño de bebés, clonación y otros medios para alcanzar una vida más próspera y duradera. Saca provecho de las enfermedades y las ansiedades inherentes a una sociedad dominada por la ciencia reduccionista (Mae-wan, 2001a); y es que el panorama reduccionista de la ciencia exhibe una incompatibilidad entre la concepción de la ingeniería genética y la realidad que expresan los nuevos descubrimientos y hallazgos de la nueva genética (Tabla 1). Mientras que los investigadores que se dedican al desarrollo de la ingeniería genética parecen creer que es sólo cuestión de manipulación de genes, la realidad nos muestra que esto no es posible si estamos hablando de genes no estáticos, inmersos en una red compleja de interacciones, sujetos a una causalidad multifactorial y sensibles a la influencia ambiental. Sin embargo, gran parte del motivo por el cual la ingeniería genética tiene tanto éxito es que el supuesto potencial de predicción, y eventualmente la corrección o “cura” atrae a miles de inversionistas que ven un futuro prometedor en los estudios genéticos, apoyando y financiando una vasta cantidad de ellos con la convicción de hallar la respuesta de las muchas promesas realizadas.

<b>CONCEPCIÓN DE LA INGENIERÍA GENÉTICA</b>	<b>REALIDAD DE LOS HALLAZGOS CIENTÍFICOS</b>
Los genes determinan caracteres en cadenas causales lineales; un gen posee una función.	Los genes funcionan en una red compleja; la causalidad es multidimensional, no lineal y circular.
Los genes y los genomas no están sujetos a la influencia ambiental.	Los genes y los genomas están sujetos a una regulación por retroalimentación.
Los genes y los genomas son estables y no cambian.	Los genes y los genomas son dinámicos y fluidos, pueden cambiar directamente en respuesta al ambiente y producir mutaciones “adaptativas”.
Los genes permanecen donde se los coloca.	Los genes pueden saltar horizontalmente entre especies no relacionadas y recombinarse.

**Tabla 1.** Se advierte la concepción de una ingeniería genética reduccionista y determinista; mientras que los hallazgos científicos nos revelan una realidad más compleja en la que la simple manipulación de genes no resulta en una capacidad de predicción total. Los genes son entidades dinámicas, inmersas en una red compleja de interacciones y sujetas a influencia ambiental (Mae-Wan. 2001b, p. 81.).

Parece ser que la biotecnología de la ingeniería genética ha desviado la atención de las verdaderas causas de la mala salud, que en muchos casos resultan ser abrumadoramente ambientales y sociales. No es suficiente con situar a los genes en el centro del problema. Los residuos industriales, los agroquímicos, desechos radiactivos, etc. son elementos que pueden estar ligados a numerosas enfermedades. La pobreza y la falta de higiene promueven de igual manera estas afecciones. Y además, son precisamente las industrias farmacéuticas y químicas las que en algunas ocasiones, por la producción de vacunas y curas cada vez más exóticas, provocan efectos secundarios inclusive más severos que la condición que supuestamente deben de tratar.

Ahora bien, las posibilidades de intervención o manipulación del genoma son posibles, por un lado, debido a que conocemos con mucho mayor detalle y más precisión la complejidad de los procesos de los sistemas genéticos de los organismos. Esto es, conocemos más acerca de la estructura del genoma, la manera en la cual se regula la información genética y como se llevan a cabo dichos procesos, así como la influencia del medio externo a estos mecanismos. Pero es este conocimiento del genoma el que también nos dice con cada vez más detalle lo complicado que es llevar a cabo una manipulación de la información genética sin miedo a generar alteraciones y efectos no deseados en el organismo. En el caso de los seres humanos, y particularmente en los aspectos médicos

para los cuales se centra el tema de la manipulación genética, es necesario considerar los retos de la aplicación de un tratamiento genético determinado y no tratar de vender promesas de las cuales no se saben por completo los beneficios y los costos, a nivel de daño colateral, que pueden afectar al organismo.

Nos damos cuenta que los factores ambientales, sociales y ciertamente de índole psicológica pueden tomar un lugar importante cuando se trata de la expresión de las secuencias contenidas en nuestro ADN. La falta de correspondencia entre los genes así como la causa de cierta afección y su efecto es notablemente importante a nivel social. No conocemos realmente la complejidad inmersa en ciertos casos como la esquizofrenia, en los que existe una evidente insuficiencia de rigor en cuanto a esta heterogeneidad de fenómenos. Es probable que esta falta de cuidado en el trato de diversas afecciones tenga una estrecha relación con el hecho de que existen un sinnúmero de criterios que a su vez desembocan en diferentes intereses en cuanto a los efectos que pueda tener un tipo de tratamiento sobre otro; lo cual genera una colección de perspectivas disciplinarias.

*“Los genes son muescas de un engranaje, no unos dioses en el cielo. Activados y desactivados a lo largo de la vida, tanto por circunstancias externas e internas, su función es absorber información del entorno, por lo menos con la misma frecuencia con la que transmite la información del pasado. Los genes hacen algo más que transmitir información, también responden a la experiencia” (Ridley, 2003, p. 259).*

Por más de 50 años los científicos han estado operando bajo un esquema que permitía algunas suposiciones acerca de la naturaleza real de los genes, sin embargo, ha sido necesaria una reevaluación de esta doctrina determinista, que junto con un nuevo razonamiento centrado en un sistema más amplio del que primeramente se había considerado, puede ayudar a consolidar y aclarar la información que se obtiene a nivel del genoma, permitiendo de esta manera reencaminar los nuevos estudios genéticos. Sin embargo, la descripción del genoma y la constante reafirmación del mismo como importante en el campo de la medicina y su valor para la salud humana elevaron el estatus del gen en lo que se refiere al desarrollo humano, y por extensión, a la vida humana y a la herencia.

Al mismo tiempo el determinismo genético tiene cada vez más incidencia en la esfera social. La dominancia que experimenta el estudio de los genes no sólo compete al rubro científico, sino que parece apoderarse de la conciencia social y la cultura en general. El hecho de que existan elementos sociales envueltos lo convierte en algo de gran importancia, las diferentes maneras de responder a las preguntas que impone un fenómeno determinado en la naturaleza pueden tener un efecto social y causar controversia. Sólo basta observar lo que sucede sobre todo cuando algo que es llamado “genético”, llega a ser considerado como irremediable, inamovible, total y absolutamente fijo, sin posibilidad de esperar un cambio.

Lo anterior nos muestra que la manera en la cual manejamos nuestros conceptos debe de ser propiamente examinada. La individualización de criterios y las diferencias entre estos pueden crear un abismo de posibilidades completamente exhaustivas, pero parece ser que se centran más que nada en sólo algunos intereses. Lo que se trata de exponer en esta parte es que el conocimiento científico, específicamente el que tiene que ver con el genoma y los procesos genéticos de los organismos, no es de ninguna manera suficiente como para poder entablar predicciones tan precisas como las que pregonan ciertos grupos de científicos. Lo que parecer estar sucediendo es que, habiendo manipulado el material genético y advirtiendo los significativos y triunfantes resultados obtenidos, es entonces sumamente fácil ver el mundo desde un punto de vista genético determinista, es decir, que los genes determinan nuestro destino y, en consecuencia, que manipulándolos nosotros también vamos a poder controlarlo. Como diría Mae-Wan: *“Es una visión irresistiblemente heroica... pero totalmente errónea y descaminada”* (Mae-Wan, 2001b; p. 31).

Con lo anterior no se pretende afirmar que la ingeniería genética es mala, sino que la idea que se encuentra detrás de determinados proyectos relacionados con la misma (como es el caso del Proyecto del Genoma Humano) están cimentados en ideas no del todo correctas. Como se ha mencionado, la atención del presente trabajo se centra en el papel de los genes dentro del contexto científico, es decir, cuál es el lugar que ocupan en importancia, y realmente cuál es la tarea que llevan a cabo, así como señalar los efectos de una visión determinista de los mismos. En este trabajo se pretende hacer notar un

desacuerdo con la visión reduccionista que se observa en los estudios de genética, y con las afirmaciones que suponen un mundo determinista, en el que los genes son jueces y juzgado de nuestras vidas. Se reconoce el papel de los genes, son elementos necesarios, pero de ninguna manera son suficientes para explicar la vida. Lo que convierte a la ingeniería genética en peligrosa son las estrechas alianzas que existen entre ésta y la industria: la ciencia y el comercio.

Los problemas que inicialmente eran de interés científico se han convertido en campo de competencia para numerosos inversionistas, esto es, lo que en un principio era una investigación de la biotecnología de la ingeniería genética desembocó en un fundamental error de juicio que centró la solución de todos los conflictos que la humanidad enfrenta hoy en día en la molécula de la herencia.

En todo el mundo, los cultivos transgénicos son presentados por sus promotores (la industria biotecnológica y los científicos financiados por ella) como la nueva revolución tecnológica que traerá múltiples beneficios para la humanidad (Ribeiro, 2004). Sin embargo, la mejor manera de describir a los cultivos transgénicos, desde su introducción en 1996 por la industria agrícola, es la concentración corporativa y la uniformación. La agricultura industrial ha establecido fuertes lazos de dependencia entre los agricultores y los grandes productores semilleros y empresas de agroquímicos, por medio de condicionamientos de compra, créditos o préstamos.

El poder de estas grandes corporaciones multinacionales va mucho más allá del mercado. Estas empresas han empleado su poderío económico y lo han traducido en enorme poder político; por medio de alianzas, algunos representantes de las corporaciones en los gobiernos, tratados de libre comercio, presiones, corrupción, chantaje, etc; (Ribeiro, 2004) han logrado que la dominación económica se convierta en normas y legislaciones a su favor. Los cultivos modificados genéticamente resultan ser pues una herramienta para la agricultura industrial y los beneficiarios son las grandes empresas, no el público en general, los más afectados resultan ser los productores de comunidades locales del tercer mundo y crean mayores dependencias con las corporaciones gigantes: *“el monopolio corporativo y*

*la falta de posibilidades de elección son las características que mejor describen a los transgénicos”* (Ribeiro, 2004; p. 78). El objetivo principal resulta ser las ganancias, no la salud pública, el hambre o el medio ambiente; y para lograrlo constantemente intentan obtener control sobre los mercados, los consumidores y los productores.

Los cultivos transgénicos no muestran aceptación por parte de la mayoría de los agricultores; no ha mostrado rendimientos y en la mayoría de los casos no han disminuido el uso de plaguicidas, lo han aumentado. No tienen ventajas económicas que atraigan a los agricultores, pero sobre todo, no ofrecen ningún tipo de beneficio a los consumidores. Un factor que influyó para esto es que las primeras generaciones de cultivos transgénicos son cultivos resistentes a agroquímicos de la misma empresa (no a enfermedades, problemas de suelo o climáticos) y cultivos insecticidas, que en poco años han demostrado su ineffectividad. Los alimentos que han sido modificados genéticamente y que están disponibles en el mercado no son más baratos, no saben mejor y no son más saludables o nutritivos (Ribeiro, 2004).

En el área de la industria farmacéutica, hacia 1994, los valores de las acciones del sector biotecnológico se habían estancado. La industria que intentaba vender ilusiones no podía combatir la cruda realidad de una incertidumbre de predicción; su probabilidad de éxito era cada vez más baja, y los productos que fracasaban las pruebas clínicas iban en aumento (Mae-Wan, 2001b). Esto nos demuestra lo peligroso de la incompatibilidad entre un poderoso conjunto de técnicas y una ideología errónea que guía su práctica, pues ésta última sólo promueve valores de interés egoísta, competitividad y acumulación de riqueza para las corporaciones multinacionales. Los inversionistas y grandes conglomerados farmacéuticos visualizan una fuente de dinero y poder en el conocimiento científico, justificando su labor como el medio de obtención de aquellos beneficios que la ciencia le proporciona a los seres humanos.

El campo de conocimiento de la ciencia se ha vuelto tan importante debido a que es mediante el avance de la misma que permite el desarrollo progresivo de la tecnología, que impulsa el crecimiento económico y la supuesta mejora en la calidad de vida humana. Ello

explica las grandes sumas de dinero que son invertidas en estudios científicos e investigación médica principalmente. Es también esta la razón por la que muchos políticos y el público en general se preocupan cuando se trata de algún asunto de investigación científica. Es decir, lo veamos de manera positiva o negativa, la investigación científica tiene dos aspectos muy importantes: explica fenómenos y promueve el desarrollo de tecnología. Sin embargo, la ingeniería genética se presenta ante nosotros con diferentes ambiciones y diferentes posibilidades de las que puede darle el conocimiento científico real. En general, la ciencia y la tecnología deben distinguirse por el hecho de que lo que hace que una avance no necesariamente implica y garantiza el desarrollo de la otra. Particularmente en el campo de la biología, impulsada por la genética, la ingeniería genética nos promete casi poder ilimitado para erradicar enfermedades hereditarias, cuando el conocimiento real disponible no nos permite hacer tales afirmaciones.

Los beneficios de los cuales parecen gozar los estudios moleculares son objeto de discusión, pues sitúan de alguna manera al estudio genético en un pedestal, sobre cualquier otra forma de investigación. Lewontin nos dice: *“el problema es construir una tercera visión, una que vea al mundo no como un todo indisoluble ni con la visión igualmente incorrecta, pero actualmente dominante, de que cada nivel del mundo está hecho de diminutas piezas que pueden ser aisladas y que sus propiedades pueden ser estudiadas en aislamiento”* (Lewontin, 1992). Es decir, debemos articular una visión antireduccionista que tenga la capacidad de ver a los estudios moleculares como una parte muy importante, pero no todo lo que es la biología contemporánea, ya que existen algunos elementos que no pueden ser capturados por el lenguaje de la biología molecular, o mejor dicho, a un lenguaje que se restrinja a sus nociones estructurales, y que igualmente puede ser explicado sin tener que acudir a un detalle tan exhaustivo como el molecular. El error está en creer que las preguntas que resuelve son las únicas que tienen importancia, y que no hay cabida para aquellas que quedan fuera de su campo.

Lewontin critica, bajo esta misma base, los estudios que conllevaron a apoyar la realización del Proyecto del Genoma Humano (PGH), considera que dicho proyecto se encuentra basado en una serie de afirmaciones que ponían en primer plano el poder causal

de los genes, y la capacidad de los científicos de poder manipular la naturaleza causal de los mismos. Así pues, *“la idea de que existe un gen que es constante, aislable y que puede patentarse como si éste fuera parte de una invención por todas aquellas maravillosas cosas que puede hacer es el más grande mito reduccionista que se haya perpetrado”* (Mae-Wan, 2001b; p. 34). Precisamente esta noción determinista, acerca del gen aislable que especifica una función independiente, es también aquella que se le presta gran validez al patentamiento de los genes. Así pues, armados con un determinismo genético gran cantidad de científicos convencieron a miles de capitalistas para hacer inversiones multimillonarias en estudios científicos que tenían como finalidad la identificación de las secuencias del genoma humano, que eventualmente podrían ser patentadas, y finalmente vender esta información a grandes compañías farmacéuticas para su uso en el descubrimiento de nuevos medicamentos.

Puesto que ya no cabían dudas de que en el ADN se encontraba la clave de la estructura, desarrollo y organización de los organismos, a partir de la década de los 40's del siglo XX se originó una natural tendencia por buscar la correspondencia que existía entre las características de los organismos y el contenido de sus respectivos mensajes genéticos. En otras palabras, se partía de la base de que la aparente relación existente entre genotipo (combinación de alelos del material genético de un organismo y el ambiente) y fenotipo (expresión manifiesta de la carga genética de un organismo) permitiría dar a toda característica de los seres vivos una explicación basada en las propiedades de sus genes.

Esta nueva ola de investigación ha prometido el surgimiento de una nueva era en lo que se refiere a la salud humana. Se pretende eliminar los “errores genéticos” y compensar aquellos aspectos errados de nuestro genoma con una carga genética que sea la propicia para nuestro bienestar. No cabe duda que aspectos como este nos llevan a pensar que los tratamientos genéticos que en la actualidad tienen la posibilidad de realizarse basan el empleo de diferentes técnicas para su realización en la información que provee las secuencias del genoma, lo cual nos remite sin duda a proyectos tales como el Proyecto del Genoma Humano, (PGH).

## **El Proyecto del Genoma Humano.**

El Proyecto del Genoma Humano (PGH) estuvo inspirado en el mismo determinismo genético que le atribuye al genoma humano el “mapa” para la construcción del ser humano. Es un proyecto que incluye la colaboración de un gran consorcio de laboratorios con la tarea de obtener la secuencia completa de bases del genoma humano; se propone identificar y localizar con exactitud la totalidad de genes de nuestra especie. Es decir, la estrategia que se pretende seguir es encontrar marcadores genéticos (un segmento de ADN con una ubicación física identificable en un cromosoma y cuya herencia se puede rastrear; un marcador puede ser un gen, o puede ser alguna sección del ADN sin función conocida) cuya transmisión esté asociada a enfermedades, reconocer el locus o segmento en el que se encuentre dicha secuencia dentro del cromosoma y, posteriormente elegir candidatos a genes que eventualmente se puedan clonar y secuenciar. El conocimiento de dichos genes nos proveería de suficiente conocimiento como para poder realizar hipótesis de las bases causales de una enfermedad determinada dentro de esta cacería de genes.

Otro objetivo del Proyecto del Genoma Humano es emplear la información obtenida para el desarrollo de tecnologías que sean capaces de entender mejor las enfermedades que afectan al hombre y de esta manera diseñar más eficientemente las medicinas apropiadas. Asimismo se pretende no sólo diagnosticar a los genes que puedan ser los causantes de dichas enfermedades sino eventualmente sustituirlos por aquellos que sean los adecuados (terapia génica), de esta manera el mejoramiento genético de la especie se convierte en una más de las potenciales metas del proyecto. De igual forma la secuenciación completa del genoma humano pretende ayudar a deducir, a partir de las secuencias de los genes hallados, la secuencia de aminoácidos de sus productos proteicos (y su división en exones e intrones) así como las estructuras de las proteínas; y de esta manera explicar la naturaleza humana en su totalidad. Lewontin (1998) señala que la biología molecular explica el desarrollo de un individuo como el desenvolvimiento de una secuencia de hechos ya preestablecidos por un programa genético. De esta manera: *“la idea general de la explicación basada en el desarrollo es, pues, la de encontrar todos los genes que suministran instrucciones para ese programa y trazar la red indicadora entre ellas”* (Lewontin, 1998; p. 19). Sin embargo, no

hay manera de que, incluso conociendo la secuencia primaria de aminoácidos, sea posible establecer, por ejemplo, la estructura tridimensional de la proteína, lo cual es un problema que aún permanece sin solución. Entusiastas y críticos ven el proyecto como un gran paso en lo que se refiere a la medicina preventiva, y reconocen la problemática inmersa en esta gran tarea.

¿Qué beneficios reales se pueden obtener de la secuenciación del genoma humano? Primero que nada debemos recordar el hecho de que no existe una circulación de la información en un solo sentido como lo concibe el Dogma Central. Más bien, la expresión de los genes está sujeta a las instrucciones, modificaciones y ajustes, de acuerdo con los contextos ambientales, fisiológicos y celulares. Más aún, los genes y el genoma en general, se encuentran bajo numerosos cambios en el curso del desarrollo normal, y la correspondencia de gen-enfermedad se ha demostrado que es falsa. Por lo que no es posible pensar, y no hay alguna razón real, que nos diga que una vez secuenciado el genoma humano entenderemos la naturaleza humana en su totalidad; la naturaleza humana no es cuestión de genes, a pesar de que éstos puedan participar. De hecho, de los 100,000 genes que se habían calculado hasta antes de que concluyera el proyecto, ahora los números estimados se encuentran entre los 30,000 a 40,000 genes<sup>3</sup>; así pues, saber la secuencia de los genes no nos dice mucho en realidad, dada la problemática inmersa en la codificación de proteínas, los métodos de rastreo de las funciones de las mismas, el desconocimiento de las rutas metabólicas, etc. Richard Lewontin (1992b) concluye al respecto que el Proyecto del Genoma Humano contiene un mensaje en una dirección errónea. Él nos dice que los frutos de tal investigación puede que desemboquen en una enorme facilitación de numerosos estudios y proyectos de fisiología y biología del desarrollo en las próximas décadas, así como dar pie a la obtención de nueva información en el campo de la evolución por medio de la comparación de genomas de especies relacionadas. Sin embargo, de ninguna manera debe haber ilusiones que estén centradas en el trabajo molecular, y más bien debemos tomar en cuenta otro tipo de estudios sobre desarrollo y fisiología que no necesariamente se remitan al nivel molecular. Así pues encontramos que las promesas

---

<sup>3</sup> Los números mencionados son aproximaciones estimadas que aparecen en: Venter, J. et. al. The Sequence of the Human Genome. *Science*. 16 Febrero. 2001. Vol. 291. no. 5507, pp. 1304 – 1351.

incluidas en el PGH no parecen resolver cualquier problemática que pueda poner en riesgo la integridad del ser humano en cuestiones de salud.

*“La aplicación de nuevas técnicas moleculares revela que, por debajo del nivel del cromosoma, el genoma es una población continuamente cambiante de secuencias. La movilidad, amplificación, eliminación, inversión, intercambio y conversión de secuencias crean esta inesperada fluidez tanto en la escala del tiempo evolutiva como en la del desarrollo” (Dover y Flavell, 1982; contratapa).*

Muchos críticos del PGH creen que es incorrecto una tendencia en biología que favorezca el aspecto molecular de los fenómenos en cuanto a la investigación científica, pues se discute que éste mismo no es el único proyecto con valor significativo dentro del estudio biológico. Numerosos investigadores han señalado que los estudios de biología molecular han forzado al gen, que previamente era considerado como una entidad “teórica” o “simbólica” (Maienschein, 1992; p. 122), en una entidad material con “*forma, estructura definida y mecanismos comprensibles*” (Fogle, 1990; p. 352); y que ciertamente los biólogos moleculares han transformado el status del gen en términos biológicos y filosóficos. Sin embargo, a pesar de que el PGH ha producido una vasta cantidad de información adicional que respalda esta transformación, se ha reconocido desde hace tiempo que el gen no constituye un concepto unitario (Benzer, 1957).

Gracias al PGH ha sido posible conocer cerca de 200 genomas de organismos como bacterias, hongos, animales y plantas, lo que elevó la capacidad de asignar funciones a secuencias concretas. Ahora, asignar funciones biológicas a segmentos de ADN es prácticamente imposible sin establecer comparaciones con otras secuencias de genomas de otros organismos en los cuales se haya establecido previamente dicha función directa o indirectamente. Además de ello es necesario probar que, en efecto, la secuencia para la cual se estableció la comparación obedece y codifica para la función postulada. En este caso es necesario aislar el gen, amplificarlo, expresarlo y medir o probar la actividad de su producto. Sin embargo, y aún en este caso, la información genética es de escasa utilidad si se desconocen sus mecanismos de regulación, la manera como interactúa el producto de esa secuencia con algunos otros elementos celulares, y la información de tipo clínico o ambiental que puede incluir. A partir de esto “*la posibilidad de correlacionar datos de*

*orígenes muy diversos permitirá contrarrestar la simple idea determinista que de los genes codifican características complejas, y tomar en cuenta numerosos factores involucrados en su expresión al momento de plantear soluciones comprometidas con la calidad de vida”* (Suárez, 2005; p. 63).

El PGH no puede y no debe pretender comprender todo el ser humano a partir de una secuencia de nucleótidos. Existen las relaciones sociales, los procesos cognoscitivos y muchos otros factores externos que moldean a los organismos aparte de su carga genética. La genética ni explica ni puede explicar las diferencias entre grupos sociales en cuanto a capacidades intelectuales, éxito económico o estatus social alcanzado. Este recurso explicativo de la genética coincide con el tirón inercial de las modas científicas para servir de pretexto a claros intereses ideológicos, cuyos supuestos son contrarios a las aportaciones de la literatura experimental en biología molecular y genética de la conducta.

Según Marga Vicedo (1998) son cuatro los aspectos principales que deben ser examinados de manera detallada con respecto al Proyecto del Genoma Humano (PGH), éstos son: 1) el aspecto económico y organizacional del proyecto en sí; 2) el potencial uso de la información y la ética de su empleo; 3) el valor científico real del proyecto; y finalmente, 4) problemas conceptuales con relación a la comprensión de la naturaleza.

En cuanto al aspecto económico y organizacional del proyecto, Vicedo (1998) nos dice que la cooperación es fundamental para el éxito de dicho proyecto, es sólo con base en ésta que el proyecto puede tener frutos importantes, y que no se debe permitir la fragmentación en grupos ni la competencia y lucha por el poder; es necesario olvidar los intereses comerciales y la hegemonía científica así como el prestigio. Otra crítica que se realiza en este aspecto al PGH es el hecho de que cubre un alto porcentaje de presupuesto sobre muchos otros proyectos de investigación biológica. En gran parte, este fenómeno es comprensible debido al gran impacto social que tiene y las aplicaciones médicas que se presume están envueltas en el proyecto. Sin embargo, no debe perderse de vista la importancia de otro tipo de proyectos e investigaciones que no necesariamente tienen

repercusiones monetarias tan importantes, nuevamente, la tendencia que se muestra en la esfera científica no debe favorecer sólo a los estudios moleculares.

Por otro lado, los potenciales beneficios y riesgos son bastante grandes. El PGH nos aporta mapas y secuencias además de toda una serie de información que será empleada para el eventual desarrollo de técnicas que tengan la capacidad de manipular el material genético. Así pues, los problemas éticos que parecen surgir del PGH están más bien relacionados con el uso biotecnológico que se puede hacer de la información y las prácticas genéticas que se puedan desarrollar, no de la información que en sí misma se pueda obtener a partir del proyecto. Claro está que no podemos separar el PGH del uso que se le dé a la información obtenida, para lo que Vicedo nos dice: *“es simplemente abogar por una ética preventiva que nos permita obtener el máximo beneficio del proyecto”* (Vicedo, 1998; p. 503).

Como proyecto científico, el PGH nos proveerá de una enorme cantidad de información en cuanto a las bases que componen nuestro genoma, y nada más que eso. Eventualmente podrá surgir la identificación de genes, e inclusive así los científicos sabrán poco de su funcionamiento. No sabemos del todo como es que los genes regulan sus funciones o como se “prenden” y se “apagan”, por lo que tener un mapa del genoma y saber exactamente las secuencias presentes en el material genético no nos ayuda a saber cómo se construye un ser humano. Holzman y Marteau (2000; p. 343) concluyen que: *“en nuestra carrera por cobijar la medicina con el manto de la genética, estamos perdiendo otras probabilidades de mejorar la salud pública”*. Esto es, no necesariamente el conocimiento molecular nos dará ventajas en el tratamiento de enfermedades; existen muchas terapias y procedimientos para el tratamiento de ciertas afecciones que no requieren un estudio genético, tal es el caso de la fenilcetonuria, que es diagnosticada al momento del nacimiento y cuya solución radica en un simple cambio de dieta desde la infancia hasta la adolescencia. Por otro lado, la medicina complementaria y alternativa ofrece otro tipo de estrategias en el tratamiento de enfermedades, y su estudio no está basado en investigación

genética. Según define la NCCAM<sup>4</sup>, la medicina complementaria y alternativa es un conjunto diverso de sistemas, prácticas y productos médicos y de atención de la salud que no se considera actualmente parte de la medicina convencional (la medicina convencional es la medicina según la practican aquellas personas que tienen títulos y sus profesionales son asociados de la salud; como médicos, fisioterapeutas, psicólogos y enfermeras tituladas). La lista de lo que se considera medicina complementaria y alternativa cambia continuamente, ya que una vez que se comprueba que una terapia determinada es eficaz e inocua, esta se incorpora al tratamiento convencional de la salud al igual que cuando surgen enfoques nuevos para la atención sanitaria. Las terapias biológicas en la medicina complementaria y alternativa emplean sustancias que se encuentran en la naturaleza, como hierbas, alimentos y vitaminas. Algunos ejemplos incluyen el uso de los suplementos dietéticos, el uso de productos de herboristería, y el uso de otras terapias denominadas "naturales" aunque aún no son probadas desde el punto de vista científico, por ejemplo, el uso de cartílago de tiburón en el tratamiento del cáncer (NCCAM, 2002). El empleo de la información genética para el tratamiento de enfermedades responde pues a una expectativa simplista y entusiasta promovida por los grandes intereses económicos en juego (Kitcher, 2002).

Sabemos que la biología molecular es reduccionista metodológica y ontológicamente hablando, esto es, su acercamiento al conocimiento científico se basa en la búsqueda de los componentes básicos de la vida en términos físico-químicos. La caracterización físico-química de un sistema es importante, o podríamos inclusive mencionar que es necesaria, pero eso es completamente diferente a decir que una descripción de la naturaleza de este tipo es suficiente para entender un proceso o sistema dado, y mucho menos cuando el sistema en cuestión es el ser humano. Ahora bien, la pregunta que resalta es: ¿el reduccionismo metodológico es una buena estrategia de investigación?; o también, ¿una metodología reduccionista, esto es, la creencia en la posibilidad de reducción y la metodología que consecuentemente adopta la reducción, son más fructíferas que una visión o metodología anti-reduccionista?. Desde sus inicios la

---

<sup>4</sup> Nacional Center for Complementary and Alternative Medicine (National Institutes of Health), en el portal: <http://nccam.nih.gov/>

genética molecular ha entablado una estrategia que busca los componentes físico-químicos de la vida sobre una base genética. Si bien es cierto que la adopción de una estrategia reduccionista ha sido exitosa, su aplicación no nos ha permitido comprender en su totalidad un sistema vivo como lo es el ser humano. El poder de alcance del conocimiento de los genes no es suficiente, sólo es parte de la solución a la “ecuación”.

Como hemos mencionado, el PGH se elabora bajo una metodología y ontología reduccionistas, y más bien lo que parece suceder en relación a los resultados del PGH es que la dirección que se le ha dado al proyecto, al menos en el ámbito meramente social, es el de respuesta a muchas de las afecciones de los seres humanos, además de las promesas de jamás volver a padecer cierto tipo de enfermedades (como el cáncer) que han atacado a varias generaciones de individuos. Ahora, realmente los beneficios de un proyecto de esta magnitud muchas veces se centran en la información provechosa para otro tipo de estudios y trabajos que se obtienen de investigaciones como esta. Es decir, la existencia real del PGH, en este momento, o al menos durante la historia del proyecto, ha consistido en el desarrollo de mapas, la capacidad de clonación de secuencias de interés y la secuenciación de genomas de organismos modelo. Sin embargo, es muy probable que los aliados políticos del proyecto se encuentren sorprendidos de que la secuenciación de organismos modelo sean de los mayores triunfos, aspecto que no debe de ser subestimado. Como nos lo dice Kitcher (1998; p. 526): *“el conocimiento de genomas de organismos modelo ayudará a resolver cuestiones básicas relacionadas con la regulación genética en eucariontes, así como proveer de información para la comprensión de procesos intracelulares comunes a todos los organismos”*. Así pues, es posible que el tipo de declaraciones que se han hecho con respecto al proyecto hayan sido con el objetivo de atraer financiamiento e interés social a la tarea; declaraciones que en la actualidad no pueden ser respaldadas por el conocimiento científico. Este hecho claramente pone en tela de juicio a los científicos que se dirigen al público con esta clase de aseveraciones. Docenas de secuencias se han hecho y diez años más tarde nos percatamos de que es evidente que los científicos no comprenden cómo hacer una bacteria, o un gusano, y mucho menos se han curado enfermedades con base en la sola información genética. Mae-Wan (2001a; p. 7) nos dice: *Tratar de entender una enfermedad con base en los genes, es como tratar de entender una máquina por sus tuercas y ruedas,*

*sin ver a la máquina en su conjunto. Así también en el ser humano, no se puede entender una enfermedad sin entender el todo, y no se puede diseñar una medicina solo por la información procedente de los genes*". Así pues, los beneficios reales del PGH pueden resumirse en: 1) Nos aporta una increíble cantidad de información y potencial conocimiento acerca de los procesos de desarrollo de los organismos. 2) La realización de numerosos proyectos de fisiología y biología de los próximos años se verán facilitados con el conocimiento de las secuencias relevantes en los estudios pertinentes. 3) Investigaciones relacionadas al estudio del proceso evolutivo podrán ser llevados a cabo con información más precisas a través de la comparación de genomas de especies relacionadas. 4) El mapeo genético y las técnicas de secuenciación contarán con una mejor tecnología para su realización, y eventualmente la manipulación del genoma podrá llevarse a cabo con mucha más certeza que la que se cuenta actualmente.

Ciertamente la metodología y la ontología reduccionistas que han respaldado la creación del PGH nos han brindado información sumamente valiosa sobre los bloques estructurales de nuestro genoma, esto es, sabemos cada vez más acerca del procesamiento de nuestra información genética, y estamos más conscientes del verdadero poder que implica conocer dicha información. Sin embargo, nuestra capacidad de predicción y mejoramiento sigue siendo la misma después de más de diez años de investigación. La estrategia reduccionista nos ha ayudado, pero no es la clave para la comprensión absoluta del sistema vivo de un ser humano. Según el filósofo K. Schaffner (1998): 1) Los genes merecen igualarse con otras causas. 2) Los genes no son "preformacionistas". 3) Su significado depende en gran medida del contexto. 4) Los efectos de los genes y el ambiente son perfectamente coherentes e inseparables y, finalmente, 5) La psique "surge" del proceso de desarrollo de un modo imprevisible. Ahora bien, la identificación de algunos tratamientos como genéticos, es decir, que son específicamente provocados por algún o algunos genes, nos ha llevado a otorgarle un privilegio inapropiado al genoma como factor causal. Esto no quiere decir que no existan enfermedades de este tipo, basta con sólo mencionar la anemia falciforme. Sin embargo, el papel primordial que se le otorga a los genes es un grave problema, y lo más complicado es que es un error que comúnmente se

comete. Y lo que es más preocupante es el impacto que puede tener en una sociedad como la nuestra.

Si bien resulta absurdo negar los avances de la genética, y que en buena medida sus logros se deben a investigaciones científicas guiadas por estrategias reduccionistas, su aplicación también ha resultado en explicaciones reduccionistas o mecanicistas de los organismos; pero existen dos maneras de confrontar esta situación que se presenta ante nosotros: 1) asumiendo que las explicaciones de corte reduccionista y que favorecen el poder causal de los genes sobre cualquier otro aspecto son suficientes y 2) reconocer como igual de importantes otro tipo de factores, ya sea ambientales, psicológicos o de cualquier otra índole, adicionales al aspecto genético de los fenómenos, para así, en este sentido, enriquecer nuestra comprensión y abrirle las puertas a nuevas maneras de confrontar problemas biológicos, con la convicción de que hay mucho más que sólo atribuirle responsabilidad a un gen.

*“No tenga miedo a los genes. No son dioses, son engranajes” (Ridley, 2003; p. 282).*

## Capítulo 4

### Conclusiones

El argumento que se ha desarrollado en relación a la noción del determinismo genético y el concepto de gen puede ser dividido en dos partes; la primera se refiere al aspecto filosófico del problema que se quería tratar, es decir, el origen de la idea determinista del mundo, como herencia de la discusión situada hacia el siglo XVII entre el mecanicismo y el vitalismo; y el problema de poder explicar el desarrollo de los organismos, concretamente el trayecto que va del genotipo al fenotipo. La segunda parte se refiere al determinismo genético en su contexto histórico, no sólo como una manera de explicación científica, sino también como una manera de ver al mundo, su influencia en el pensamiento popular y su reflejo en el orden social. Al mismo tiempo se ha tomado en cuenta el tema del concepto de gen y ha expuesto el problema de la definición del mismo, dando cuenta de su relevancia experimental y su empleo meramente como herramienta, no como un concepto unitario o físicamente delimitable. Finalmente se han expuesto las razones por las cuales es necesaria una visión en la cual los organismos sean considerados como sistemas, reconociendo la existencia de interacciones complejas entre distintos niveles de organización así como con el ambiente interno y externo de los organismos.

Como se mostró en el primer capítulo el problema de la causalidad y la explicación científica es un problema que ha persistido en el pensamiento biológico inclusive hasta nuestros días. La expulsión de la noción de diseño de las explicaciones científicas significó un primer obstáculo a vencer en el desarrollo de la biología como ciencia. No fue sino hasta la revolución científica del siglo XVII, y el reconocimiento de su relevancia en el ámbito social para el desarrollo tecnológico, que las explicaciones por la búsqueda de mecanismos vendrían a apoderarse del pensamiento científico. La incapacidad de dicha forma de explicar los fenómenos biológicos nos dejó ver que no es posible hacer un análisis de los seres vivos como si se tratara de un problema físico o si se hablara de la resolución de una ecuación matemática. A pesar de ello, esta forma de pensamiento se ha logrado abrir paso por su capacidad práctica y flexibilidad metodológica, siendo el supuesto sobre el cual se ha construido la ciencia, particularmente en la biología, pues ha sido la manera por

excelencia de abordar los problemas biológicos. Esta idea de comprender al mundo como si fuera una máquina es la que permite una formulación material de todos los objetos, vivos y no vivos, y lo que a su vez provoca una transformación del conocimiento adquirido, pues permite definir a los procesos causales en términos de mecanismos.

El éxito del modelo mecánico ha producido una visión simplista y vulgar acerca de la relación que existe entre las partes y el todo, así como de las causas y los efectos. Impide el entendimiento de los sistemas naturales como sistemas, como entidades indisolubles, que no pueden entenderse analizando sólo las partes. En la actualidad los científicos parecen abordar el estudio de aquellos problemas que sólo puedan ser admitidos para su resolución bajo esta metodología mecanicista. La ciencia de nuestros días resuelve los problemas que se adaptan a los instrumentos y métodos adecuados, y los investigadores pronto parecen sólo plantearse las cuestiones que puedan ser resueltas.

Es indudable que la aplicación de una metodología mecanicista ha resultado sumamente exitosa. Nos ha brindado un conocimiento invaluable, e indudablemente útil para el desarrollo de las civilizaciones humanas. Pero nos ha borrado el panorama completo, nos ha puesto una venda, y no nos permite reconocer la importancia de los sistemas vivos. Claramente la caracterización de un organismo por las partes hace referencia al todo, pero de ninguna manera lo explica. Sin embargo, es notablemente común que se cometan este tipo de errores en la investigación científica de nuestros días.

La biología siempre ha seccionado a los organismos, nunca se ha usado el todo como unidad de estudio; y es verdad que la biología molecular, en su forma reduccionista más extrema, ha demostrado tener un gran poder explicativo, pero el objeto real de la investigación es la relación y la manera en la que interactúan las diferentes moléculas y estructuras de los sistemas vivos. En cierto sentido, el enfoque reduccionista de la biología molecular ha resultado ser muy tentativo y procura determinar las relaciones causales que existen en la naturaleza partiendo de los elementos individuales. Pero es importante no olvidar que las relaciones entre los genes, los organismos y el ambiente son relaciones en las que los tres elementos constituyen causas y efectos.

El determinismo genético se ha derrumbado bajo el peso de su propio impulso debido a los descubrimientos de la nueva genética. Los genes no son en absoluto las esencias constantes de los organismos cuyos efectos se puedan separar netamente unos de otros o del ambiente, es decir, no pueden ignorarse el ambiente interno y externo de los organismos. No existe un programa o mapa genético para construir a los organismos. Es necesario abandonar la existencia y convicción de los procesos del desarrollo controlados por genes y de esta manera adoptar una concepción del desarrollo como una construcción, y no como el producto de un código o programa genético preexistente que no reconoce e inclusive ignora el resto del complejo interactivo del que los genes necesitan para poder “funcionar”. Asimismo, el ambiente (externo e interno) debe verse como un factor de igual importancia a los genes en la generación de los organismos; así, los cuerpos y las mentes se construyen, y no solamente se transmiten como productos de un programa. Pues como lo señala Mae-Wan: *“La herencia es el modo de vida completo, característico de la especie. Lo biológico y lo socioecológico están mutua e inextricablemente mezclados. En consecuencia, nuestro destino no está escrito ni en las estrellas ni en nuestros genes, porque somos participantes activos en el drama evolutivo”* (Mae-Wan, 2001b; p. 85). El fenómeno de la herencia, evolutivamente hablando, no reside en los genes más de lo que reside en el ambiente, por lo que el enlace genético entre la ontogenia y la filogenia se vuelve necesario pero no suficiente: los genes no pueden dar origen a los organismos solos, y es mediante la comprensión de los procesos del desarrollo que sabemos que las condiciones externas e internas están enlazadas. Entender a un organismo es entender estas relaciones, y entender su filogenia es rastrear su historia.

El gen se ha convertido en un concepto en constante tensión. Es un ícono de nuestra cultura. Genetistas y biólogos moleculares han propagado una imagen del gen que lo ha convertido en la entidad y unidad por excelencia de la naturaleza. Sin embargo, ese poder que se le concede al gen ha sido, en buena parte, producto de información sensacionalista. El gen ha sido instituido como el “átomo de la vida”, que mantiene a los sistemas vivos, que los controla; denominar algo como “genético” se convierte en algo inamovible, inevitable, en destino. Los grandes avances de la biología molecular promueven un sentido de determinismo acerca de la naturaleza de gen, y eventualmente la alteración de los gen se

convierte en la cura prometida. Sin embargo, el triunfo del reduccionismo como estrategia de investigación y como la resolución del proceso de la herencia en términos moleculares, no puede, al final, proveer la respuesta sobre los procesos de la herencia.

La dificultad en la aplicación de una estrategia de estudio reduccionista, radica en que: 1) los organismos son entidades dinámicas que presentan una heterogeneidad interna, relacionada con sus funciones, de modo que 2) los organismos establecen relaciones causales con otros sistemas igualmente heterogéneos. Además de ello, 3) no existe un modo único apropiado en el que se puedan “dividir” y que permita el análisis causal de sus diversas funciones. Lewontin (1998; p. 88) afirma a este respecto que *“el organismo es el punto de conexión de un gran número de fuerzas débilmente determinantes, ninguna de las cuales es sin embargo dominante”*. Así, ningún nivel, en una visión jerárquica de la naturaleza, es el único correcto para el análisis del funcionamiento o la historia evolutiva de un organismo, y claramente el nivel que contiene a los genes no es capaz de aportar una respuesta única.

Ahora bien, ¿Existen los genes?, ¿Qué es un gen?, ¿Son estructuras físicamente delimitables?, ¿Podemos hablar de una correspondencia entre genes y rasgos fenotípicos?, y finalmente ¿Cuál es el papel real de los genes? La dinámica de regulación que existe al nivel de genoma nos deja ver que resulta complicado hablar de genes, y cada vez es menos precisa su definición. Su definición debe de estar orientada hacia de los diferentes criterios y funciones que se le otorga, así como a los diferentes intereses explicativos que se tengan. Esto es, como elementos estructurales del genoma de un organismo los genes no existen de manera real, son meramente una construcción que tiene más que nada un fin instrumental y operacional, es decir, deben su existencia a un quehacer epistemológico.

Los biólogos moleculares, por ejemplo, aceptan la existencia de segmentos de cromosomas que codifican para polipéptidos específicos, elementos a los cuales de manera casi universal denominan genes. Sin embargo, no son una entidad física concreta que represente una correspondencia al 100% uno a uno en cuanto a las secuencias que forman parte del gen y su producto. Y su reproducción y variaciones se encuentran reguladas por la

selección natural y otras fuerzas evolutivas. Así que, la existencia y papel real de los genes resulta ser una tarea, que si bien depende en gran parte de la perspectiva del investigador, es meramente importante sólo reconocer que existen distintas formas de poder concebirlo. Sin embargo, lo que resulta ser cada vez más evidente es que el concepto mecánico de una secuencia aislable de ADN correspondiente a un gen no concuerda con la realidad orgánica de la función génica dinámica e interactiva. No olvidemos que no viven de manera aislada en el organismo, sino que existe entre ellos y el ambiente una relación de un todo.

El conocimiento de la estructura y funciones del ADN son probablemente la parte más importante del cuerpo racional en la biología. Y es precisamente con base en la constante renovación del este molecular que podemos reconocer una realidad distinta a la que el determinismo genético nos muestra. La complejidad parece ser la regla más que la excepción, es urgente una visión dialéctica del mundo biológico. El estudio del ADN nos ha dejado ver esto, y a pesar de que el ADN no puede explicarnos la complejidad de los sistemas vivos, sí nos deja claros algunos hechos. El mensaje es claro: los genes no dictan nuestro destino y no son los únicos elementos causales de la herencia. Son entidades que no sólo regulan, sino que ellos también son objeto de regulación por medio de elementos no genéticos, de tal forma que no puede ser visto como la unidad activa del desarrollo.

El determinismo genético desgraciadamente está muy lejos de colapsarse, al igual que la visión reduccionista del mundo. La compleja interacción que existe entre la evolución del conocimiento científico y la evolución del orden social hicieron posible la adopción del determinismo genético y de un reduccionismo metodológico y ontológico. La noción de determinismo genético ha sido empleada como pretexto que justifica la estructura de la sociedad, dejando claro que las instituciones sociales no significan ningún obstáculo en el crecimiento de los individuos como miembros activos y productivos de la sociedad; los genes se dicen dictar el destino de los individuos, así como su comportamiento y el lugar que deben ocupar en la escala social. Así, el origen y función social del determinismo genético se encuentra relacionado con la creencia en la igualdad de oportunidades, pues desempeña un papel clave al permitir que nuestra sociedad permanezca políticamente estable a pesar de las desigualdades que existen. La visión determinista del mundo conserva

a la materia en el papel principal, y su influencia sobrepasa a la barrera de la ciencia, llegando de igual manera a los terrenos de la política y la economía.

El mundo no debe ser comprendido como el determinismo biológico pretende y, como modo de explicar el mundo, nos debe quedar claro que el determinismo es defectuoso, es falso. El extraordinario éxito de las prácticas y los estudios moleculares han sido consecuencia de un programa determinista, dado el dominante modo de análisis cartesiano del mundo físico y biológico. Y si bien ahora sabemos mucho más de la naturaleza del genoma, las entidades biológicas jamás son homogéneas, y la invariabilidad que sugiere el determinismo no se cumple cuando se intenta hacer uso del supuesto poder de predicción de los genes en el afán de simplificar un análisis que requiera numerosos factores en consideración.

Por otro lado, el surgimiento de la ingeniería genética nos ha enseñado que si bien el potencial manejo de la información genética nos puede brindar información valiosa, también nos demuestra que no conocemos realmente la complejidad que se encuentra inmersa en enfermedades tales como la esquizofrenia, por ejemplo. Esta heterogeneidad de situaciones nos hablan de la clara falsedad del determinismo genético. Ahora, el campo de conocimientos de la ciencia que se centra en la ingeniería genética está cometiendo un error de juicio al localizar las soluciones de éstos y otras tantas cuestiones en el estudio del genoma. Como lo ha mencionado Lewontin (1992b), el Proyecto del Genoma Humano contiene un mensaje en una dirección errónea. La capacidad de que, una vez teniendo la secuencia completa del genoma humano, sea posible comprender todos los aspectos de un ser humano, es altamente dudosa; y especialmente tener al alcance soluciones comprometidas con la salud y la calidad de vida. No debemos olvidar que existen las relaciones sociales y los procesos cognoscitivos que moldean a los organismos aparte de su carga genética. El proyecto nos aporta información, mapas y secuencias, no más. No es posible considerar la erradicación de enfermedades contando con la simple secuencia del genoma humano, de lo contrario, estaríamos apelando a las expectativas simplistas de una ciencia promovida puramente por intereses económicos. Así pues la genética es incapaz de explicar las diferencias entre grupos sociales, las capacidades intelectuales, el éxito

económico o estatus social alcanzado. El reconocimiento de los seres vivos como sistemas complejos con intrincadas interrelaciones con su ambiente interno y externo, independientemente de su carga genética, es absolutamente necesario para la comprensión del sistema vivo. Los genes deben ser igualados con otras causas, ya sean ambientales, psicológicas o de otra naturaleza, ya que los organismos no se adaptan simplemente a ambientes preexistentes y autónomos, sino que mediante sus actividades crean, destruyen, modifican y transforman interna y externamente este medio ambiente. Así como no puede haber ningún organismo sin ambiente, tampoco puede existir éste sin organismos. Ni el organismo ni el ambiente son un sistema cerrado; cada uno de ellos está abierto al otro.

## Literatura Consultada

- Alberch, P. 1981. From genes to phenotype: dynamical systems and evolvability. *Genética*. Vol. 84. Pp. 5-11.
- Allen, G.E. 1979. Naturalists and experimentalists: The genotype and the phenotype. *Studies in the History of Biology* Vol. 3. Pp. 179-209.
- Apter, M. J. 1966. *Cybernetics and Development*. Oxford: Pergamon Press.
- Apter, M. J., y Wolpert. 1965. Cybernetics and development. *Journal of Theoretical Biology*. Vol. 8. Pp. 244-257.
- Atlan, H., y M. Koppel. 1990. The cellular computer DNA: Program or data. *Bulletin of mathematical biology*. Vol. 52. Pp. 335-348.
- Avery, O.T., M. MacLeod, y M. McCarty. 1944. Studies on the chemical transformation of pneumococcal types. *Journal of Experimental Biology and Medicine*. Vol. 79. Pp. 137-138.
- Beadle, G.W. y E. L. Tatum. 1941. Genetic control of developmental reactions. *Studies in the History of Biology* Vol. 3. Pp. 179- 209.
- Benzer, S. 1957. The Elementary Units of Heredity. En: W.D. McElroy y B. Glass (eds). *The chemical basis of heredity*, Johns Hopkins Press, Baltimore, MD, pp. 70-93.
- Beurton, P.J. Falk., Rheinberger. (eds) 2000. *The concept of the gene in development and evolution: historical and epistemological perspectives*. Cambridge University press. EUA.
- Bird, A. P. y Wolffe, A. P. 1999. Methylation-induced repression-belts, braces and chromatin. *Cell*. Vol. 99. Pp. 451-454.
- Bolívar Zapata, F. 2000. *Obra científica IV. La genética moderna: fundamentos y horizontes*. México: El Colegio Nacional. Pp. 96.
- Bonner, J. 1965. *Molecular Biology of Development*. Oxford: Open University Press.
- Brenner, S., W. Dove, I. Herkowitz, y R. Thomas. 1990. Genes and Development: Molecular and logical themes. *Genetics*. Vol. 126. Pp. 479-486.
- Britten, R.J., y E.H. Davidson. 1969. Gene regulation of higher cells: A theory. *Science*. Vol. 165. Pp. 349-357.
- Carlson, E.A. 1991. Defining the gene: An evolving concept. *American Journal of Human Genetics* Vol. 49. Pp. 475-487.
- Churchill, F.B. 1974. William Johannsen and the genotype concept. *Journal of the History of Biology* Vol. 7. Pp. 5-30.
- Crick, F.H.C. 1957. *Symposium of the Society of Experimental Biology*. Vol. 12. pp. 138-163.
- Darwin, Charles. 1859. *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. London. John Murria. Albemarle Street.
- Dawkins, R. 1976. *The Selfish Gene*. Oxford: Oxford University Press.
- Dawkins, R. 1982. *The Extended Phenotype*. W.H. Freeman and Company.
- Dobzhansky, T. 1955. A review of some fundamental concepts and problems of population genetics. *Cold Springs Harbor Symposia on Quantitative Biology*. Vol. 20. Pp. 1-15.

- Dover, G. y Flavell, R. 1982. *Genome Evolution*. Academic Press Inc., U.S.
- Durkheim, É. 1892. *The Rules of Sociological Method*. Free Press. [Las reglas del método sociológico. Barcelona. Folio. 2003].
- Falk, R. 1999. Can the norm of reaction save the gene concept? En *Thinking About Evolution: Historical, Philosophical and Political Perspectives*, editado por R. Singh, C. Krimbas, D.B. Paul y J. Beatty. New York: Cambridge University Press.
- Falk, R. 2000. The Gene. A concept in Tension. Pp. 317-348. En: Beurton, P.J. Falk., Rheinberger. (eds) 2000. *The concept of the gene in development and evolution: historical and epistemological perspectives*. Cambridge University press. EUA.
- Fisher, R. A. 1930. *The Genetical Theory of Natural Selection*. Oxford: Clarendon Press.
- Fogle, T. 1990. Are Genes Units of Inheritance?. *Biology and Philosophy*. Vol. 5. pp. 349-371.
- Fox Keller, E. 2000a. Decoding the Genetic Program. Or, Some Circular Logic in the Logic of Circularity. pp. 159-177. En: Beurton, P.J. Falk., Rheinberger. (eds) 2000. *The concept of the gene in development and evolution: historical and epistemological perspectives*. Cambridge University press. EUA.
- Fox Keller, E. 2000b. *The Century of the Gene*, Harvard University Press, E.U.A.
- García, D. V. 2002. *Explicación y estrategias de investigación en la biología del desarrollo* (Tesis de Licenciatura). Facultad de ciencias. UNAM.
- Gifford, F. 1990. Genetic traits. *Biology and Philosophy* Vol. 5. Pp. 327-347.
- Gilbert, S. 1997. *Developmental Biology*. Sunserland, MA: Sinauer.
- Gilbert, W. 1978. Why genes in pieces?. *Nature*. Vol. 271. Pp. 501.
- González V. 2005. *Genoma Humano y Dignidad humana*. Anthropos. México: UNAM. Facultad de filosofía y letras.
- Goodnight, C. J., J. M. Schwartz y L. Stevens. 1992. Contextual Analysis of Models of Group Selection, Soft Selection, Hard Selection, and the Evolution of Altruism. *American Naturalist*. Vol. 140. Pp.743-61.
- Griesemer, J.R., y W. Wimsatt. 1989. Picturing Weismannism: A case study of conceptual evolution. En *What the Philosophy of Biology Is, Essays of David Hull*, editado por M. Ruse. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 75-137.
- Hendrich, B. y Bird, A. 1998. Identification and characterization of a family of mammalian methyl-CpG binding proteins. *Mol. Cell. Biol.* Vol. 18: 6538-6547.
- Henry, J. 1997. *The Scientific Revolution and the Origins of Modern Science*. Macmillan. E.U.A.
- Holliday, R. y Pugh, J.E. 1975. DNA modification mechanisms and gene activity during development. *Science*. Vol. 87. Pp. 226-232.
- Holtzman, N.A. and Marteau, T.M. (2000). Will Genetics Revolutionize Medicine?. *The New England Journal of Medicine*. July. Pp. 343.
- Huang, Sui. 2000. The practical problems of post-genomic biology. *Nature*. Vol. 18. Mayo. pp. 471-472.
- Hull, D. 1974. *Philosophy of Biology*. Prentice-Hall.
- Hull, D. y M. Ruse, (eds). 1998. *The Philosophy of Biology*, Oxford University Press, UK.

- Inmaculada de Melo-Martín. 2003. When is biology destiny? Biological determinism and social responsibility. *Philosophy of Science*. Academic Research Library. Vol. 70 N.5. Pp. 1184.
- Jackson, David A., Symons, Robert H. y Berg, Paul. 1972. "Biochemical Method for Inserting New Genetic Information into DNA of Simian Virus 40: Circular SV40 DNA Containing Lambda Phage Genes and the Galactose Operon of Escherichia coli." *Proceedings of the National Academy of Sciences* Vol. 69 Pp. 2904-9.
- Jacob, F. 1977. Evolution and Tinkering. *Science*. Vol. 196. Pp. 1161-1166.
- Johannsen, W. 1909. Elemente der exalten Erblchkeitslehre. Jena: Gustav Fisher.
- Johannsen, W. 1911. The genotype conception of heredity. *The American Naturalist* Vol. 45. Pp. 129-159.
- Kaplan, J. M. y Pigliucci, M. 2001. Genes "for" Phenotypes: A Modern History View. *Biology of Philosophy*. Vol. 6. pp. 189-213.
- Kauffman, S. 1971. Articulation of Parts. *Explanation in Biology and the Rational Search for Them*. PSA-1970, pp. 257-272.
- Keightley, P.D. y Kacser, H. 1987. Dominance, Pleiotropy and Metabolic Structure. *Genetics*. Vol. 117. pp. 319-329.
- Kitcher, Philip. 1982. Genes. *Br. Journal of Philosophy of Science*. Vol. 33. pp. 337-359.
- Kitcher, Philip. 1999. The Hegemony of Molecular Biology. *Biology and Philosophy*. Vol. 14 pp. 195-210.
- Kitcher, Philip. 2002. Las vidas por venir. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones Filosóficas. México.
- Kitcher, Phillip. 1998. who's afraid of the Human Genome Project?. *The Philosophy of Biology*. Edited by David L. Hull and Michael Ruse. Oxford University Press. Pp. 522-535.
- Kolasa, J., Pickett STA.1989. Ecological systems and the concept of biological organization. *Proceeding of the National Academy of Science*, Vol. 86, 8837-41.
- Kuhn. T. S. 1962. La Estructura de las Revoluciones Científicas. FCE. México.
- Kuittinen, H., Sillanpaa, M.J. y Savolainen, O. 1997. Genetic Basis of Adaptation: Flowering Time in *Arabidopsis thaliana*. *Theoretical and Applied Genetics* Vol.95. pp. 573-583.
- Lerner, Richard M. 1992. Final Solutions. Biology, prejudice and genocide. University Park, Pennsylvania. Pennsylvania State University. 238p.
- Levins, R. y R. Lewontin. 1985. The Dialectical Biologist. Cambridge, MA. Harvard University Press.
- Lewontin, R. C. 1992a. Biology as Ideology: The doctrine of DNA. New York; Harper.
- Lewontin, R. C. 1992c. Genotype and Phenotype. En *Keywords in Evolutionary Biology*. Fox Keller, E. Lloyd, E. (eds). Cambridge, Mass. Harvard University Press. Pp. 137- 144.
- Lewontin, R. C., Steven Rose y Leon J. Kamin. 1991. No está en los genes. Racismo, genética e ideología. Ed. Grijalbo. CONACULTA.

- Lewontin, R.C. 1991. Twenty-five years ago in Genetics: Electrophoresis in the development of evolutionary genetics: Milestone or millstone?. *Genetics* Vol. 128. Pp. 657-662.
- Lewontin, R.C. 1992b. The dream of the human genome. *New York review of Books*. May 28. Pp. 31-40.
- Lewontin, R.C. 1998. Genes, organismo y ambiente. Las relaciones de causa y efecto en biología. Gedisa editorial.
- Lewontin, R.C. 2000. It ain't necessarily so. *New York Review Books*. Nueva York.
- Loomis, J. F. 1988. Case management in health care. *Health and Social Work*. Vol. 13. Pp. 219-225.
- Lorenz, K. 1963. On aggression (traducido por M.K. Wilson). Harcourt, Brace and World, Inc. New York.
- Lumsden, C. J. y Wilson, E. O. 1981. Genes, Mind, And Culture: The Coevolutionary Process. Harvard University Press.
- Lumsden, C. J. y Wilson, E. O. 1999. iUniverse.
- Mae-Wan Ho. 2001a. Genoma humano, el mayor negocio que ha visto la humanidad. Institute of Science in Society and Dept. of Biological Sciences, Open University, Walton Hall, Milton Keynes MK7 6AA, UK.
- Mae-Wan, Ho. 2001b. Ingeniería Genética, ¿Sueño o pesadilla?. España, Barcelona.
- Maienschein, J. 1992. Gene: Historical Perspectives. En: E. F. Keller y E.A. Lloyd (eds), *Keywords in Evolutionary Biology*. Harvard University Press, Cambridge, MA, pp. 123-127.
- Martínez, S. F. 1997. De los efectos a las causas. Paidós-UNAM. México.
- Martínez, S. F. y Barahona, A. R. (eds). 1998. Historia y explicación en biología (comp). Fondo de Cultura Económica. Pp. 42- 60.
- Mayr, E. 1954. Change of genetic environment and evolution. En *Evolution as a Process*, editado por J. Huxley, A.C. Hardy y E.B. Ford. London: Allen y Unwin, pp. 157-180.
- Mayr, E. 1961. Cause and effect in biology. *Science* Vol. 134. Pp. 1501-1506.
- Monod, J., y F. Jacob. 1961. General conclusions: Teleonomic mechanisms in cellular metabolism, growth, and differentiation. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* Vol. 26. Pp. 389-401.
- Muller, H.J. 1922. Variation due to change in the individual gene. *American Naturalist* Vol. 56. Pp. 32-50.
- Nagel, E. 1961. *The Structure of Science*, Harcourt, Brace, and World, NY.
- NCCAM. 2002. ¿Qué es la medicina complementaria y alternativa? [versión electrónica] Publicación No. D164. Extraído de: <http://nccam.nih.gov/espanol/informaciongeneral/>
- Novack, G.E. 1976. Introducción a la lógica dialéctica. Bogotá. 142p.
- Pigliucci, M. 1996. How Organisms Respond to Environmental Changes: From Phenotypes to Molecules (and Vice Versa). *Trends in Ecology and Evolution*. Vol. 15 (2). pp. 66-70.
- Ribeiro, S. 2004. Cultivos transgénicos: contexto empresarial y nuevas tendencias. En: Muñoz, R. (coordinador). 2004. *Alimentos Transgénicos*. Ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto. Siglo XXI editores. Pp. 67-87.

- Ridley, Matt. 2003. *Nature via Nurture. Genes, Experience and what makes us human.* HarperCollins. USA.
- Riggs, A.D. 1975. X inactivation, differentiation, and DNA methylation. *Cytogenet. Cell Genet.* Vol. 14. pp. 9-25.
- Rose, Steven P. R. 1997. *Lifelines. Biology, freedom, determinism.* London. Penguin. 333p.
- Russo, V.E.A. Martienssen, R.A. y Riggs, A.D. (ed.). 1996. *Epigenetic Mechanisms of Gene Regulation.* Cold Spring Harbor Laboratory Press, Plainview, New York.
- Sarkar, S. 1992. Models of reduction and categories of reductionism. *Synthese* Vol. 91, pp. 167-194.
- Schaffner, K. 1967. "Approaches to Reduction," *Philosophy of Science* Vol. 34. pp. 137-147.
- Schaffner, K. F. 1998. Genes, behaviour and developmental emergentism: One process, indivisible?. *Philosophy of Science.* Vol. 65. pp. 209-252.
- Scheiner, S. M. 1993. Genetics and Evolution of Phenotypic Plasticity. *Annual Review of Ecology and Systematics.* Vol. 24. pp. 35-68.
- Schwartz, Sara. 2000. The Differential Concept of the Gene. En *The concept of the gene in development and evolution: historical and epistemological perspectives.* Editado por Beurton, P.J. Falk., Rheinberger Cambridge University press. EUA.
- Silverman, H. Paul. 2004. Rethinking Genetic Determinism. *The Scientist. ProQuest Biology Journals.* May 24, Vol. 18 N. 10.
- Sohn-Rethel, A. *Mental and Manual Labour.* Macmillan, Londres, 1978.
- Speybroeck Linda Van. 2002. From Epigenesis to Epigenetics, The case of C. H. Waddington. *New York Academy of Sciences.* Vol. 981. Pp. 61-81.
- Sterelny, K. y Kitcher, P. 1988. The Return of the Gene. *The Journal of Philosophy.* Vol. 85. N. 7. pp. 339-361.
- Sterelny, K. y P.E. Griffiths. 1999. *Sex and Death. An Introduction to Philosophy of Biology.* Chicago University Press, UK.
- Strohman, R. 1994. Epigenesis: the missing beat in Biotechnology. *Biotechnology.* Vol. 12. Pp.156-164.
- Strohman, R. 2003. Genetic Determinism as a failing paradigm in biology and medicine: implications for health and wellness. *JSWE.* Vol. 39 N. 2.
- Suárez, Edna. 2005. Reduccionismo y Biología en la era postgenómica. *Ciencias.* Vol. 79, pp. 54-64.
- Sultan, S.E.1992. Phenotypic plasticity and the Neo-Darwinian legacy. *Evolutionary trends in plants.* Vol. 6. pp. 61-71.
- Tress, et. al. 2007. The Implications of alternative splicing in the ENCODE protein complement. *PNAS.* Vol. 104. Pp. 5495-5500.
- Urnov, F. D. Wolffe, A. P. Above and Within the Genome: Epigenetics Past and Present. 2001. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia.* Vol. 6, N. 2. Pp. 153-167.
- Urnov, F.D. y Wolffe, A.P. 2001. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia.* Vol. 6, N. 2. Pp. 153- 167.
- Van der Welle, C. 1999. *Images of development: Enviromental causes in Ontogeny.* Albany: State University of New York Press.

- Velázquez, Antonio. 2001. Genoma. Nuevas aguas para viejos cauces. *Revista Universidad de México*, marzo-mayo. Pp. 39-44.
- Venter, J. et. al. The Sequence of the Human Genome. *Science*. 16 Febrero. 2001. Vol. 291. no. 5507, pp. 1304 – 1351.
- Vicedo, M. 1998. The Human Genome Project: Towards an Analysis of the Empirical, Ethical, and Conceptual Issues Involved. En: Hull, D. y M. Ruse, (eds) 1998. *The Philosophy of Biology*, Oxford University Press, UK.
- Villoro, L. (coordinador, 2000). *Los linderos de la Etica*. México D.F. siglo XXI. Pp.134.
- Vincenzo, E. A. 1995. *Genetic engineering: dreams and nightmares*. Oxford; New York: Freeman/Spektrum.
- Waddington, C.H. 1946 (1935). *How Animals Develop*. London. George Allen & Unwin Ltd. Pp. 123-124.
- Waddington, C.H. 1956 (1939). *An Introduction to Modern Genetics*. London. George Allen & Unwin Ltd. Pp. 8.
- Waddington, C.H. 1956 (1939). *An Introduction to Modern Genetics*. London. George Allen & Unwin Ltd. Pp. 8.
- Waddington, C.H. 1962. *New Patterns in Genetics and Development*. Columbia University Press. Pp. 84.
- Watson, J. 2003. DNA: Beyond the double helix. *Nature*, Enero. Vol. 421. No. 6921 Pp. 310- 313.
- Watson, J.D. y F.H. C. Crick. 1953. Genetical implications of the structure of desoxyribose nucleic acid. *Nature* Vol. 171. pp.964-967.
- Whitehead, A. N. 1967. *Science and the Modern World*. N. Y. The Free Press.
- Wilson, E. O. 1975. *Sociobiología: la nueva síntesis*. Barcelona, Ediciones Omega, S. A.
- Wilson, E. O. 1998. *Consilience: The Unity of Knowledge*. Knopf.
- Wimsatt, W.C. 1976. Reductive explanation: a functional account. *Boston Studies in the Philosophy of Science*. Vol. 32. pp. 671-710.
- Wimsatt. W. C. 1980. Reductionistic Research Strategies and their Biases in the Units of Selection Controversy, en T. Nickles (ed.) *Scientific Discovery: Case Studies*. pp. 213-259.