

SANTIAGO DIAZ-PIEDRAHITA
EDITOR



**MEMORIAS DEL
SEMINARIO NACIONAL
EL QUEHACER TEORICO
Y LAS PERSPECTIVAS
HOLISTA Y REDUCCIONISTA**

MENDIVETA SE FVNDÓ ESTE OBSERVATORIO ASTRONÓMICO A LOS 4° 30' DE LATITVD NORTE Y 67° 45' DE LONGITVD OESTE DEL OBSERVATORIO DE S. FERNANDO

TEXTOS DE:

JUAN MANUEL JARAMILLO-URIBE
LUIS EUGENIO ANDRADE
ANTONIO ELIZALDE
ALICIA G. DE MESA
JOSE LUIS VILLAVECES C.
GUILLERMO HOYOS VASQUEZ
ALVARO CADENA MONROY
PRIMAVERA GRIGORIÚ DE BUENDIA
CARLOS EDUARDO VASCO URIBE
EDUARDO VILLAR CONCHA
DIEGO CAMELO
JOAO V. MUÑOZ DURAN
CARLO FEDERICI CASSA

ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS, FISICAS Y NATURALES
COLECCION MEMORIAS No. 1

ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS, FISICAS Y NATURALES
COLECCION MEMORIAS No. 1



**MEMORIAS DEL
SEMINARIO NACIONAL
EL QUEHACER TEORICO
Y LAS PERSPECTIVAS
HOLISTA Y REDUCCIONISTA**

Santiago Díaz-Piedrahita
Editor

Textos:

*JUAN MANUEL JARAMILLO-URIBE
LUIS EUGENIO ANDRADE
ANTONIO ELIZALDE
ALICIA G. DE MESA
JOSE LUIS VILLAVECES C.
GUILLERMO HOYOS VASQUEZ
ALVARO CADENA MONROY
PRIMAVÁRA GRIGORIÚ DE BUENDIA
CARLOS EDUARDO VASCO URIBE
EDUARDO VILLAR CONCHA
DIEGO CAMELO
JOAO V. MUÑOZ DURAN
CARLO FEDERICI CASSA*

SANTAFE DE BOGOTA, D.C.
1994

© **Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**
Cra. 3A No. 17-34, Piso 3o. - Apartado 44743 - Fax (571) 2838552
Primera Edición, 1994 - Santafé de Bogotá, D.C. - Colombia

Reservados todos los derechos. Este libro no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización.

Presidente de la Academia: Luis Eduardo Mora Osejo
Director de Publicaciones : Santiago Díaz-Piedrahita
Comité Editorial : Eduardo Brieva Bustillo
Gonzalo Correal Urrego
Hernando Dueñas Jiménez
Hernando Groot Lievano
Gerardo Pérez Gómez
Carlos Eduardo Vasco Uribe

ESTA PUBLICACIÓN HA SIDO REALIZADA CON LA
COLABORACIÓN FINANCIERA DE COLCIENCIAS,
ENTIDAD CUYO OBJETIVO ES IMPULSAR EL
DESARROLLO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO DE
COLOMBIA.

Autoedición e Impresión:
EDITORA GUADALUPE LTDA
Apartado 29675 - Tel.: 2690532
Printed in Colombia - Impreso en Colombia

Colección Memorias

Los orígenes de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales se remontan a 1826, año en el cual el General Francisco de Paula Santander creó la Academia Nacional de Colombia. Sin embargo, en su actual organización, la entidad data de 1933 cuando mediante la Ley No. 34 del Congreso de la República, se la establece como cuerpo consultivo del Gobierno Nacional en lo pertinente al fomento de los estudios científicos y a la promoción de la enseñanza de las ciencias. En 1936, y a través del decreto 1281 fueron establecidas las normas reglamentarias y complementarias de varias leyes y decretos pertinentes, tras lo cual quedó oficialmente constituida la Academia. A partir de su reorganización, la principal finalidad de la entidad ha sido la de "promover y fomentar la investigación en los campos de las ciencias exactas, físicas y naturales y estimular su estudio".

Una de las modalidades utilizadas por la Academia para cumplir con sus objetivos ha sido la de producir publicaciones especializadas; el órgano oficial de la entidad es un boletín en octavo, el cual, con el título de "Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales" viene apareciendo en forma ininterrumpida desde octubre de 1936. En la actualidad cuenta con setenta y dos entregas, notables tanto por su calidad editorial como por el rigor y originalidad de sus contenidos. En febrero de 1985, y con el fin de complementar la labor realizada a través de la Revista, la Academia aprobó la creación de tres colecciones de libros destinados a la pronta divulgación de estudios originales relativos a tres ramas del saber. La "Colección Jorge Alvarez Lleras" tiene como meta la publicación de resultados de trabajos investigativos en cualquier área de la ciencia; esta serie cuenta con seis monografías. Es objeto de la "Colección Julio Carrizosa Valenzuela" el publicar textos de carácter didáctico; hasta el presente se han publicado tres volúmenes; la "Colección Enrique Pérez Arbeláez" se ocupa de la difusión de trabajos relativos a la historia de la ciencia; en ella se han publicado ocho volúmenes. Todas las publicaciones han tenido gran acogida entre la comunidad científica, al punto de que dos de ellas se han agotado y una más se ha hecho acreedora a un premio de carácter nacional.

En marzo del presente año se creó una nueva serie que bajo el título de "Colección Memorias" tendrá como objeto el publicar las ponencias o confe-

rencias presentadas en los seminarios y simposios organizados por la Academia. Aparece esta nueva colección con dos fascículos en el primero de los cuales se recogen las ponencias presentadas en desarrollo del seminario titulado "El quehacer teórico y las perspectivas holista y reduccionista", evento organizado conjuntamente por la Academia, la Universidad Nacional de Colombia y Colciencias. El segundo fascículo reúne algunas de las conferencias dictadas en desarrollo del "Seminario Konrad Lorenz sobre etología", evento orientado especialmente a los estudiantes de biología y realizado en septiembre de 1991 en el auditorio del Instituto de Ciencias Naturales - Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional de Colombia.

El seminario "El quehacer teórico y las perspectivas holista y reduccionista" tuvo carácter nacional y se llevó a cabo en el paraninfo de la Academia Colombiana entre el 26 y el 28 de mayo de 1993. Fueron los objetivos de este certamen el promover una actitud dinámica y reflexiva, acerca de los distintos enfoques filosóficos, teóricos y del devenir histórico de la ciencia, enmarcados en las controvertidas perspectivas del holismo y del reduccionismo, y a la vez propiciar la presentación de esquemas conceptuales novedosos con el fin de proyectarlos a la comunidad científica nacional. La idea de organizar este seminario surgió en el "Grupo de ciencia teórica" de la Academia, notable grupo de reflexión que se reúne periódicamente para ocuparse del análisis teórico, histórico y epistemológico en los diversos campos del quehacer científico y del desarrollo de nuevos conceptos. En este primer fascículo se divulgan algunas de las propuestas relativas a la investigación histórica, epistemológica y teórica de la ciencia en Colombia, sin importar la posición de los científicos de las diferentes disciplinas en torno al holismo y al reduccionismo, pero sí poniendo de presente algunos ejemplos de la proyección de dichos enfoques en el campo de lo práctico.

Con la publicación de esta nueva serie y con la intensa actividad editorial desplegada últimamente, la Academia simplemente está dando cabal cumplimiento a algunas de las normas que la rigen, especialmente a aquellas contenidas en los artículos 2o. y 46o. de sus estatutos y que particularmente se refieren a las finalidades y a las publicaciones de la corporación.

Santiago Díaz-Piedrahita
Director de Publicaciones
Academia Colombiana de Ciencias Exactas,
Físicas y Naturales

Contenido

	Pág.
Colección Memorias	V
Presentación	3
Consideraciones acerca del reduccionismo y el holismo en las teorías científicas. Una mirada estructuralista del problema <i>Juan Manuel Jaramillo Uribe</i>	7
Holismo y reduccionismo en el desarrollo de la biología molecular <i>Luis Eugenio Andrade</i>	17
Paradigmas y metáforas: pasos hacia una epistemología integradora y participativa <i>Antonio Elizalde</i>	41
El concepto cuántico de totalidad <i>Alicia G. de Mesa</i>	57
¿Reduccionismo u holismo? Consecuencias lógicas <i>José Luis Villaveces C.</i>	63
Qué tan reduccionista es la reducción fenomenológica <i>Guillermo Hoyos Vásquez</i>	81
Ni holismo ni reduccionismo: azar y necesidad <i>Alvaro Cadena Monroy</i>	89
Búsqueda de un modelo sobre la evolución de los mecanismos de reparación del ADN. <i>Primâvara Grigoriú de Buendía</i>	107

La emergencia de la conciencia en un modelo computacional del cerebro <i>Carlos E. Vasco Uribe</i>	131
Terapia sistémica: elementos de teoría y práctica <i>Eduardo Villar Concha</i>	139
Holismo, reduccionismo y el caso de la tecnología contemporánea <i>Diego Camelo Duque</i>	149
Holismo y reduccionismo: ¿entre el todo y la nada? <i>Joao V. Muñoz Durán</i>	163
Un modelo neuronal relativo al concepto Saussuriano Hjelmsleviano de signo <i>Carlo Federici Cassa</i>	179

Presentación

A pesar del enorme desarrollo y avance indiscutible de la ciencia moderna, hay en el fondo algo que preocupa, que nos deja con la sensación de que el mundo que hemos construido gracias a ella, no anda del todo bien. Es elocuente y habla por sí misma la distorsionada interacción que hemos creado con nuestro entorno y al interior de nuestras sociedades, donde, si en el primer caso parece imponerse la destrucción, en el segundo se entroniza la injusticia y la insatisfacción. Debemos por tanto cuestionarnos si la manera como hemos venido pensando y viendo el mundo es la más apropiada. Por tanto, es imperativo replantear conceptualmente nuestro modo de ver la naturaleza, de tal manera que nos permita descubrir nuevos tipos de interacción con ella. Transcurrimos etapas de crisis y replanteamientos culturales, donde las exploraciones conceptuales cumplen su cometido de allanar caminos y abrir fronteras, brindando la posibilidad de una interacción más armónica y coherente con la naturaleza y con nosotros mismos.

El debate teórico sobre las cuestiones fundamentales ha sido una de las actividades más dinámicas y seductoras del intelecto humano que no termina en la pura especulación sino que nos ha permitido idear nuevas formas de ver e interactuar con la naturaleza; de ahí que permee e impregne todos los planos de la actividad humana.

El quehacer teórico se podría definir como aquella actitud terca, aventurera y tenaz del pensamiento, que no se resigna ante la ortodoxia y el criterio de autoridad, que reacciona frente a la inercia de los paradigmas establecidos. Quizás también se podría entender como ese quehacer constante que se ubica en la difusa frontera donde la ciencia cambia, se aleja del quehacer "normal", genera rompimientos y se renueva; donde el científico extiende su intuición sobre algo que apenas percibe, construyendo nuevos conceptos, relaciones entre conceptos o teorías, con los cuales se pretende adaptar el universo a nuestra condición de ser seres humanos. Así, como dirían John Briggs y David Peat, la ciencia teórica es la herramienta que nos permite construir nuevos espejuelos de especulación especular.

Como es de esperar, los resultados derivados de esta actividad que son factibles de traducir a la praxis, sólo pueden obtenerse a largo plazo; incluso, es

posible que dichos resultados no sean obvios, o que tal vez nunca se den. Sin embargo, en un país en desarrollo como el nuestro, la ciencia y la tecnología, además de procurar soluciones a corto y mediano plazo que incidan sobre los sistemas productivos - tecnológicos, ambientales o de cualquier otro estilo -, deben asegurar un efecto más prolongado en el tiempo y de mayor proyección en los contenidos científicos.

En este sentido, es de anotar que los beneficios culturales generados a partir de la indagación teórica se expresan, no sólo en los aportes al conocimiento, sino en su efecto como elemento que ayuda a mantener el espíritu de una comunidad científica fértil, en su capacidad de señalar nuevos rumbos en la investigación experimental y básica, y en el diseño de nuevos instrumentos y técnicas.

En los últimos años, la investigación científica nacional ha ido desplazándose desde la capacidad de observar y medir a la de analizar y, de una manera un poco más tímida, a la de innovar a nivel conceptual. Este es un aspecto que estamos llamados a abordar con mayor énfasis y con el convencimiento de que podemos establecernos un paso más allá de la vanguardia, en donde, un poco más protegidos de su herencia, podremos contribuir al patrimonio del conocimiento científico de la humanidad.

Decididos a dar ese paso más allá, y ante la necesidad de superar el nivel de esfuerzos aislados, mediante la generación de un espacio en el que las ideas se puedan enriquecer ampliando su espectro de incidencia, y a través de la discusión acerca de sus virtudes y limitaciones, en diciembre de 1991 se fundó el Grupo de Ciencia Teórica de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Este grupo, de carácter interdisciplinario, está conformado por varios de los más connotados científicos e intelectuales del país y por jóvenes inquietos que hasta ahora empiezan a incursionar en labores de investigación.

Desde su fundación, el Grupo de Ciencia Teórica se ha empeñado en fortalecer y estimular la investigación teórica en el país, mediante la promoción de una actitud dinámica y reflexiva sobre los distintos contenidos teóricos, enfoques filosóficos y del devenir histórico de la ciencia. Como culminación de la primera etapa de desarrollo de nuestro seminario permanente, que por espacio de año y medio se centró en el análisis de los enfoques holista y reduccionista, es para nosotros motivo de satisfacción presentar las Memorias del Seminario "El Quehacer Teórico y las Perspectivas Holista y Reduccionista".

Como lo demuestran las ponencias que aquí se presentan, es largo el camino que nos queda por recorrer y la magnitud del reto que enfrentan los científicos dedicados a este tipo de actividad.

Estas Memorias expresan uno de los objetivos que inspiraron la creación del grupo: invitar a la comunidad científica a meditar sobre lo que ha sido el desarrollo científico del país y a iniciar la exploración de nuevas facetas del mismo. Esperamos que la realización de este seminario halla logrado cautivar la aten-

ción de las mentes inquietas, reunidas allí para aventurarse a la especulación sobre los aspectos teóricos de frontera.

Respecto del contenido de las Memorias, en ellas se presentan los trabajos que fueron seleccionados por el Comité Científico del evento. No sobra mencionar que se ha guardado respeto a la redacción y contenido de las ponencias. Por ello, el contenido, lenguaje y estilo son responsabilidad de los autores.

Sólo resta agradecer el empeño y dedicación de todos los miembros de los Comités científico y organizador y a las entidades que financiaron el evento: Colciencias, Universidad Nacional de Colombia, Fundación MAZDA e ICETEX.

Comité Científico

*Luis Eduardo Mora
Antanas Mockus S.
José Luis Villaveces
Carlo Federici C.
Carlos Eduardo Vasco U.*

Comité Coordinador

*Víctor Albis
Alvaro Cadena
Eugenio Andrade
Roberto Quiñones D.
José A. Lozano
Joao V. Muñoz Durán*

Consideraciones acerca del reduccionismo y el holismo en las teorías científicas. Una mirada estructuralista del problema

Juan Manuel Jaramilo Uribe*

RESUMEN

La adopción de un modelo praxiológico nos permite entender el quehacer teórico en general y, el quehacer científico en particular, como una actividad de resolución de problemas. Esta actividad y su producto, a saber, las teorías, tiene como amenaza permanente el reduccionismo y en contrapartida, obliga a adoptar un punto de vista holista. Sin embargo, la adopción de uno u otro punto de vista hacen necesario, como se propone en este trabajo, diferenciar un reduccionismo filosófico con problemas como el del fisicalismo, fenomenalismo, biologicismo, etc. o con afirmaciones como la de que "lo fundamental de la matemática es lo deducible constructivamente", de un reduccionismo científico y, por lo menos, cinco versiones diferentes de holismo: Las versiones Duhem 1, Duhem 2, Quine, Khun y Khun-Sneed-Stegmüller. El trabajo se detiene, de manera especial en el análisis de tres enunciados que caracterizan la versión Khun-Sneed-Stegmüller: 1) Las teorías se aceptan o se rechazan como un todo, no por partes; 2) Las teorías no se rechazan como resultado de experiencias cruciales; 3) Ninguna distinción clara puede hacerse entre lo que una teoría afirma y lo que es la evidencia para esta afirmación, que permiten repensar aspectos como el de la inmunidad de los núcleos de las teorías científicas, la noción de paradigma, los vínculos interteóricos y la llamada "interdisciplinarietà".

* Universidad del Valle

1. Clarificar el concepto de ciencia resulta difícil, pues todo acercamiento o intento de definición implica una posición metateórica definida. Gerard Radnitzky, si bien no propone una definición, al menos sí indica, de manera general, el propósito de la ciencia. Apoyado en lo que él denominó un "modelo praxiológico" estableció que la ciencia es primordialmente una actividad racional de resolución de problemas. Esta propuesta, acerca de lo que sería el propósito básico de la actividad científica, exigiría a su turno una clarificación de sus diferentes componentes: Actividad, actividad racional, actividad racional de resolución y actividad racional de resolución de problemas, y lo que es más importante, su delimitación respecto de otros tipos de indagación, pues, de otra manera, como le acontece al propio Radnitzky, en dicha aseveración se podrían incluir, como en una especie de continuum, toda suerte de actividades desde el sentido común hasta los proyectos de investigación científica más sofisticados y, en consecuencia con ello establecer, como también lo propone Radnitzky un único método que sería común a los diferentes niveles de la actividad cognitiva: El método de resolución de problemas. Aunque en estas notas no nos ocuparemos del desarrollo de estos aspectos, hemos considerado conveniente partir de estas consideraciones, por cuanto ellas nos permiten, así sea de una manera muy general, establecer lo que es el objetivo del quehacer teórico y de su producto, a saber, las teorías, con independencia de si son o no científicas.

La actividad de resolución racional de problemas, objeto del quehacer teórico, se ha visto amenazada por el reduccionismo al punto de caer en una especie de hipersimplificación de los diferentes procesos. Sin embargo, ésta es apenas una idea intuitiva de reduccionismo y de lo que es la reducción en general. No existe una intuición única acerca de la reducción, sino varios tipos de intuición que pueden ser diferenciados.

Una primera intuición, se inspira en las consideraciones de algunos procesos históricos como aquellos que corresponden al tránsito del concepto del movimiento aristotélico al galileano, de la teoría del movimiento planetario de Tolomeo a Copérnico, de éste a Kepler y finalmente a Newton, de la teoría del florigo a la química daltoniana, de la mecánica clásica a las teorías del espacio-tiempo de la relatividad especial y general, etc. En estos casos la intuición acerca de la reducción es la de que la teoría precedente reduce a la teoría siguiente en el sentido de suministrarle datos a la nueva teoría. A este tipo de reducción el estructuralismo¹ la llama "reducción histórica", porque son inducidos por la ocurrencia histórica de nuevas teorías.

¹ El estructuralismo del cual hablamos en este trabajo no es el estructuralismo francés de moda en la década de los sesenta. El estructuralismo del que hablamos es una corriente en la filosofía de la ciencia, iniciada con la publicación de la obra de J.D. Sneed intitulada *The Logical Structure of Mathematical Physics* (1971) donde, continuando con la propuesta de reconstrucción de Suppes según la cual las teorías empíricas se pueden axiomatizar mediante la definición de un predicado teórico-conjuntista, plantea una concepción no enunciativa o lingüística de las teorías empíricas, sino una concepción modélica de ellas; corriente filosófica que ha producido a lo largo de su desarrollo no sólo la clarificación de una serie de problemas metateóricos, sino la

Otra intuición tiene que ver con situaciones particulares de aplicación de teorías. Sucede con frecuencia que la solución de algunos problemas es difícil. Para resolverlos tratamos de simplificar (reducir) las teorías, omitiendo, de manera consciente algunas partes de ellas, sin que con ello necesariamente se distorsione la solución correcta del problema, produciéndose así una solución aproximadamente igual a la "correcta". En muchos casos dicha solución resulta ser, desde el punto de vista empírico satisfactoriamente igual a la que se obtendría si no se simplificara la teoría. A este tipo de reducción se le llamaría "reducción práctica" por su referencia a la solución de problemas específicos. Ejemplos típicos de esta clase de solución, base de muchas de las prácticas ingenieriles, es el uso de la mecánica del sólido rígido en vez de la mecánica de partículas o de la electrostática en vez de la electrodinámica. La mecánica del sólido rígido es una teoría mucho más simple que la mecánica clásica de partículas. Ella nos provee de un aparato matemático que nos permite tratar con cuerpos que se encuentran rotando respecto de su centro de masa; dicho aparato es mucho más simple que el aparato "puro" de la mecánica clásica de partículas.

Un tercer tipo de intuición, bastante frecuente, tiene que ver con los procesos de abstracción (entendida ésta en el sentido literal de "sacar de"), que ocurren en las teorías científicas. Estas, como sabemos, no son otra cosa que simplificaciones o idealizaciones de eso que, estando fuera de ellas, llamamos la "realidad". Los procesos de matematización operados a partir del siglo XVII, por ejemplo, llevaron a que la "realidad" fuese mirada con otros ojos: Los ojos del geómetra. Por supuesto que este cambio de *gestalt* sólo se hizo posible cuando en la ciencia se adoptó un nuevo lenguaje, a saber, el lenguaje cuantitativo de las magnitudes o funciones métricas y se abandonó el lenguaje cualitativo corriente en la ciencia hasta ese entonces y que, en vez de utilizar conceptos cuantitativos, hacía uso de conceptos clasificatorios y comparativos. Otro ejemplo de este proceso de "abstracción es la noción de "cuerpo físico" que se desprende de la formulación cartesiana y galileana del principio de inercia donde se habla de cuerpos "abandonados así mismos", o lo que es lo mismo, en ausencia de fuerzas, es decir de cuerpos inexistentes físicamente.

Un cuarto tipo de intuición tiene que ver con la reducción de unas disciplinas por otras, como es el caso de la reducción de la biología a la físico-química, de la psicología a la neurofisiología, o a la lingüística como cuando de la afirmación lacaniana de que el inconsciente está estructurado *como* un lenguaje se desprende que el inconsciente es un lenguaje, etc.

Aunque las reducciones histórica y pragmática pueden diferenciarse claramente desde un punto de vista intencional, su explicación, sin embargo, es similar, si no idéntica. La reducción práctica de un teoría T' a una teoría T es, formalmente, la relación inversa del esquema general para una reducción his-

posibilidad de identificar -por la vía de la axiomatización teórico-conjuntista- una serie de teorías empíricas, entre las cuales vale la pena mencionar teorías físicas, económicas, psicológicas, de crítica literaria, etc.

tórica de T a T'. Por ejemplo, se puede decir, que cuando nosotros reducimos la electrodinámica a la electrostática, con miras a realizar algunos cálculos en un problema concreto, lo que hacemos es "deconstruir" el proceso histórico que llevó, en el siglo XIX, desde la electrostática a su reducción a la electrodinámica. En ese sentido, el término reducción tendría únicamente dos usos, uno de los cuales es exactamente el opuesto del otro, al menos desde el punto de vista de su estructura formal. Como hasta el presente no se conoce ningún contraejemplo a esta situación, los estructuralistas asumen que sólo es necesario un esquema formal que sirva tanto para la reducción histórica, como para la reducción práctica. Cuando decimos que T es reducida a T', asumimos de manera intuitiva que la teoría T' es mejor o más compleja que la teoría T.

Stegmüller, por su parte, habla de dos tipos de reduccionismo: el reduccionismo filosófico y el reduccionismo científico. El primero, tan antiguo como la filosofía misma, tiene que ver con afirmaciones como la de que los contextos platónicos pueden reducirse a contextos nominalistas, o la de que los contextos de un lenguaje-cosa pueden "traducirse" en un lenguaje fisicalista, o aquella de que la parte esencial de la matemática clásica puede "reducirse" a lo deducible constructivamente. El segundo, a diferencia del primero cuyas tesis son en su mayoría imprecisas, problemáticas o en algunos casos refutadas, puede formularse y justificarse con mayor exactitud. Se trata de afirmaciones como de que la mecánica del sólido rígido es reducible a la mecánica de partículas, o la termodinámica a la mecánica estadística, o la óptica a la teoría del electromagnetismo, como también aquella de que la mecánica clásica de partículas en el caso límite de velocidades que son muy pequeñas respecto a la velocidad de la luz, es reducible a la mecánica relativista.

El primer intento por precisar formalmente esta última forma de reducción fue la tesis doctoral de E. Adams intitulada *Foundations of Rigid Body Mechanics* en la que posteriormente se basará el trabajo de J. D. Sneed intitulado *The Logical Structure of Mathematical Physics* de 1971. El trabajo de Adams sólo tuvo en cuenta la estructura matemática fundamental de la mecánica del sólido rígido y dejó de lado una serie de elementos que caracterizan lo que se conoce como el "núcleo ampliado de la teoría" que incluiría las leyes o hipótesis especiales, al igual que sus restricciones, cuya validez, a diferencia de las leyes o hipótesis fundamentales, se circunscribe a determinadas aplicaciones propuestas. En este caso más que hablarse de "reduccionismo" (expresión que, de cierta manera, conlleva a una connotación negativa) hablaremos de "reducción" a secas, como el intento de explicar una teoría valiéndonos de otra.

Ahora bien, si admitimos que la equivalencia de teorías es únicamente un caso especial de reducción y si además reconocemos, como se mostrará más adelante, que podemos trabajar con un concepto estructural de reducción aplicable en aquellos casos donde los conceptos básicos de las teorías reductora y reducida son distintos o poseen interpretaciones diferentes (como es el caso de la relación de reducción entre la mecánica del sólido rígido y la mecánica clásica de partículas, o entre la mecánica cartesiana de choque y la mecánica clásica de partí-

culas o entre la teoría planetaria de Kepler y la teoría Newtoniana de la gravitación), podemos decir que existen dos tipos de reducción interteórica: la exacta y la aproximada. Si después de algún traslado correcto los axiomas de la teoría reducida implican los de la reductora, hablamos de reducción exacta. Si alguna aproximación se ha presentado en el proceso, hablamos de reducción aproximativa.

Además de estas relaciones interteóricas de reducción, existen otros tipos de relación interteórica como lo es, por ejemplo, la relación interteórica de presuposición que, como tendremos oportunidad de mostrarlo, permite establecer vínculos interteóricos entre los modelos potenciales de una teoría y los modelos actuales de otra² que nos llevan a reconocer que las teorías científicas no son mónadas leibnizianas, esto es, estructuras conceptuales aisladas y a defender, en consecuencia, un punto de vista holista acerca de las teorías científicas. En este caso, por supuesto, al igual que lo hicimos con el término "reduccionismo", habría que precisar de qué tipo de holismo estamos hablando, pues, como lo señala C.U. Moulines en su trabajo "The ways of holism" (*Nous*, t.XX/3, 1986, pp. 313-330) existen por lo menos cinco versiones diferentes de holismo: dos versiones de Piere Duhem, una de Quine, una de Kuhn y otra de la concepción estructuralista. Esta última, a diferencia del radical holismo semántico de Quine, constituye lo que podríamos calificar "una versión moderada de holismo semántico" que en esencia establece que las totalidades conceptuales en las ciencias poseen, respecto de sus componentes, cierto tipo de primacía epistémico-semántica.

En este trabajo nos detendremos en el análisis de la relación interteórica de reducción desde la perspectiva de lo que Stegmüller denominó "reduccionismo científico", y del problema del holismo como un punto de vista alternativo que nos lleva a reconocer lo incorrecta que resulta una visión monadológica de las teorías científicas, ya que, como acertadamente dice Moulines "las teorías no son *self-made men* dispuestas a enfrentar todos sus problemas por su propia cuenta, sino que, para resolverlos, al menos en parte, echan mano de la ayuda fraternal que les conceden sus congéneres. Las teorías forman comunidades de individuos simbióticos que se ayudan mutuamente (*Exploraciones Metacientíficas*, Madrid, Alianza Universidad Textos, 1982, p.192).

2. Cuando se plantea el problema de las relaciones interteóricas y, en particular, cuando se trata de pensar los fenómenos de las revoluciones científicas, como lo hace Kuhn cuando habla de la sustitución de un paradigma por otro, por lo general, la relación interteórica se piensa en términos de la dicotomía incompatibilidad vs. reducción, entendiéndose la primera, o bien como contradicción, -como cuando se dice que la mecánica relativista contradice la mecánica newtoniana, o bien como inconmensurabilidad cuando, por no existir una univocidad semántica entre los conceptos básicos de dos teorías, no es posible "traducir" una en términos de la otra.

² Los modelos potenciales caracterizan aquellos sistemas que han sido conceptuados con base en la teoría, pero de los que no sabemos si cumplen las leyes. Los modelos actuales son aquellos que están conceptuados con base en la teoría y que además cumplen las leyes.

Por otra parte, la reducción suele entenderse como la posibilidad de deducir los axiomas de una teoría de los axiomas de otra. En ese sentido muchos científicos y filósofos de la ciencia piensan la relación de reducción de la teoría de Kepler a la de Newton cuando afirman que las leyes de Kepler son deducibles de las de Newton. Sin embargo podemos, afirmar que la reducción no es deducción, pues, si los conceptos básicos que enlaza los axiomas de dos teorías en relación de reducción son diferentes o poseen interpretaciones distintas (como en el ejemplo anteriormente mencionado) la reducción de deducibilidad y/o de consecuencia lógica, no puede aplicarse. Esto, como sabemos, llevó a muchos inconmensurabilistas a concluir que el concepto de reducción no nos sirve para analizar aquellos casos interesantes históricamente de sustitución de teorías porque siempre se produce algún tipo de cambio semántico³.

Si planteamos como lo propone el programa estructuralista de reconstrucción que las teorías científicas deben ser explicitadas como determinadas estructuras no-lingüísticas, los modelos, y no como entidades lingüísticas como lo hace la concepción estándar, para precisar la relación de reducción basta con establecer una comparación entre las estructuras correspondientes a ambas teorías que tengan las propiedades intuitivamente requeridas. Este procedimiento permite pensar, a diferencia de la concepción enunciativa, la relación de reducción no sólo con independencia de la deducción, sino también respecto del problema de los cambios semánticos, es decir, de la variación del significado.

Es Adams quien, como decíamos atrás, introduce por primera vez un concepto "modelo-teórico" de reducción que permite establecer relaciones diádicas entre las estructuras de una teoría y las estructuras de otra⁴. Una formulación simplificada de la propuesta de Adams nos dice: "La teoría T es reducible a la teoría T', si y sólo si existe una relación diádica ρ entre cada estructura x expresada en el lenguaje T y estructuras x' (por lo general más de una), expresadas en el lenguaje T tal que: $x \rho x' \wedge x' \in (T') \models x \in M(T)$ ".

Cabe anotar que en este caso la relación de consecuencia lógica es una relación de orden superior, pues, no se plantea entre enunciados, sino entre estructuras modelo-teóricas.

Si una teoría es reducible a otra, la justificación de la teoría reducida debe hacerse a partir de la reductora y, a su vez, la teoría reductora debe permitir distinciones más finas que la reducida, lo que, de manera general, se expresa cuando se dice que la teoría reductora posee un poder explicativo mayor que la reducida.

Los estructuralistas, a diferencia de Adams, introducen en el concepto modelo-teórico de reducción, el dominio de aplicaciones propuestas de las teorías, las leyes especiales y las restricciones particulares. Aunque, reconocen que aún

³ Cf. FEYERABEND, P. "Explanation, Reduction and Empiricism", in H. Feigl and G. Maxwell (ed), *Scientific Explanation, Space and Time*, U. of Minnesota Press, Minneapolis, 1962.

⁴ Cf. Adams Ernest, "Axiomatic Foundations of Rigid Body Mechanics", Unpublished Ph. D. dissertation, Stanford University. (1955).

quedan muchas cuestiones técnicas por resolver, existen buenas perspectivas para trabajar con este concepto modelo-teórico de reducción como lo atestigua su aplicación a casos concretos como lo es la relación entre la mecánica cartesiana de choque y la mecánica de partículas newtoniana, la relación entre la mecánica del sólido rígido y la de partículas, la relación entre la cinemática planetaria de Kepler y la teoría newtoniana de la gravitación, la relación entre la mecánica newtoniana y la mecánica relativista, etc. Claro está que en muchos de estos casos las relaciones no son relaciones de reducción exactas sino aproximadas, como lo es la relación Kepler-Newton, o Newton-Einstein.

Además, cuando se reduce una teoría T a una Teoría T', normalmente la reducción exige introducir en la teoría reductora ciertas condiciones restrictivas, hipótesis *ad-hoc*, a fin de poder "traducir" las estructuras correspondientes de la teoría T' a las de la teoría T. Estas condiciones *ad-hoc* o reglas de traducción poseen un alcance más restringido que los axiomas o leyes básicos. Cuando, por ejemplo, se reduce la mecánica cartesiana de choque a la newtoniana, restringimos esta última al punto de considerar sólo dos partículas moviéndose en la misma dirección, con sentidos opuestos y con una velocidad uniforme, lo que constituye, sin lugar a dudas, una condición restrictiva respecto del alcance del segundo principio de Newton o ecuación fundamental de la mecánica de partículas. Estas restricciones presuponen necesariamente la teoría reducida, pues, es en ella donde encuentran su aplicabilidad. Lo que hacen estas restricciones es servir de puente conceptual entre la teoría reductora y la reducida.

Fuera de estos vínculos de reducción existen entre las teorías vínculos interteóricos a los que, por lo general, los científicos les prestan poca atención. Así, si bien es cierto que entre la termodinámica y la hidrodinámica no existe una relación de reducción, en el sentido antes señalado, sin embargo ambas teorías se conectan a través de otras relaciones una de las cuales, la relación de presuposición juega un papel importante para establecer el carácter holista de las teorías. De esta relación y del problema del holismo nos ocuparemos a continuación.

3. El Profesor Moulines, como decíamos atrás establece cinco versiones posibles de holismo. Entre esas versiones consideramos conveniente destacar dos: la de Quine, como una versión radical del holismo y la versión estructuralista, formulada inicialmente por Sneed, como una versión moderada.

Quine en su célebre trabajo "Dos dogmas del Empirismo", propone dos metáforas que, por su mismo carácter, darían pie a múltiples interpretaciones: La metáfora geométrica del centro-periferia y la metáfora física de los campos de fuerza. La primera dice: "la totalidad de lo que llamamos nuestro conocimiento o creencias, desde las más casuales cuestiones de geografía o historia, hasta las más profundas leyes de la física atómica o incluso de la matemática y la lógica puras, es una fábrica construida por el hombre y que está en contacto con la experiencia más que a lo largo de sus lados⁵". La segunda, compara la ciencia con "un campo de fuerzas cuyas condiciones límite da la experiencia"⁶.

⁵ Quine, W. *Desde un punto de vista lógico*. Barcelona, Ariel, 1962, pp. 76-77.

⁶ *Ibid.*, p. 77.

Con ambas analogías lo que quiere indicarnos el filósofo es que la ciencia, si bien comprende toda una organización interna, -en la que además están incluidas las leyes formales de la lógica-, tiene con la experiencia un contacto, al punto de que un cambio en los enunciados de la periferia (los enunciados más empíricos) repercute decisivamente en los enunciados del centro. Estos últimos si bien están menos expuestos a reorganizaciones que los de la periferia, no son, sin embargo, inmunes a ella. Quine no ve por qué las verdades lógicas deban considerarse libres del impacto de la experiencia, es decir, verdades no importa qué. Para ilustrar esto coloca el ejemplo de la mecánica cuántica y muestra (más no demuestra) que los desarrollos de la mecánica cuántica repercuten en la lógica clásica, al punto de hacer necesario revisar la validez del principio lógico del tercer excluido y proponer, en consecuencia, una lógica alternativa: la lógica cuántica. En su opinión, por muy laxo que sea el ensamble del sistema, se puede decir, en principio, que cualquier elemento de evidencia abona o contradice el sistema total de la ciencia, incluyendo las verdades lógicas. Todas las leyes lógicas son revisables, afirmación que Popper obviamente no aceptaría, pues su propio principio de falsación, el principio lógico del *modus tollens*, sería revisable y su propuesta falsacionista se derrumbaría.

La otra versión, menos radical que la del holismo quineano, es la que resulta de la reconstrucción estructuralista de las ciencias. Esta versión moderada constituye una verdadera alternativa frente a las tesis epistémico-semánticas del operacionalismo, tan en boga hoy día. Según esta tesis, "el significado de todo concepto científico no consiste en otra cosa si no en los procesos físicos que se le pueden asociar o las configuraciones perceptibles de objetos físicos macroscópicos de tamaño medio subsumibles bajo este concepto. En el caso ideal, en el que piensa el operacionalista, esos procesos o configuraciones se realizan u observan bajo condiciones bien especificadas de laboratorio". De esa manera, si queremos establecer el significado de un término como "masa", es decir, si queremos encontrar un camino sistemático que nos garantice la asignación de valores-masa a determinados cuerpos físicos, lo que habría que hacer sería ir al laboratorio y emplear una balanza o un aparato análogo, o ciertos cálculos con papel y lápiz que se basarían en operaciones previas de laboratorio, como lo plantea Bridgman. Esto es lo que operacionalísticamente hay que hacer para establecer el significado completo del término "masa".

Esta idea, en apariencia razonable, -por cuanto se refiere a lo que normalmente el científico hace-, es sin embargo, por completo, errónea.

Aunque la ejecución de operaciones en el laboratorio juega un cierto papel en la determinación semántica de los términos cuantitativos, sin embargo, no constituye la parte decisiva de dicha determinación. Los instrumentos que usamos para establecer el valor numérico de las funciones métricas son modelos de una teoría. El sistema físico llamado "balanza" no es otra cosa que un sistema que ha sido conceptualizado con base en la teoría (modelo potencial) y que, ade-

⁷ Moulines, C.U. "la concepción estructural de las ciencias como forma de holismo". *Agora*, 11/1, 1992, p. 16.

más, satisface las leyes básicas de la mecánica del sólido rígido (modelo actual). En otras palabras, la determinación de los términos científicos sólo puede establecerse presuponiendo la aplicabilidad y validez de teorías científicas.

Conviene aclarar que las teorías científicas no poseen una gran aplicación que sería algo así como una aplicación cósmica. Por el contrario, las teorías científicas relevantes poseen un número considerable de aplicaciones posibles, cada una de las cuales se concibe como modelo de la teoría. Entre ellas existen interconexiones según reglas específicas. Los modelos que conforman una teoría no se dan aislados y sus interrelaciones forman una estructura global. Estas interconexiones se dan cuando el mismo individuo aparece en modelos distintos. La determinación de las funciones en cada uno de los modelos donde este individuo aparece debe ser la misma por cuanto poseen el mismo argumento.

Estas interconexiones se les conoce como "condiciones de ligadura" y en efecto ligan de manera fija los valores que las funciones correspondientes puedan tomar en los diversos modelos. Este es el primer aspecto holista de las teorías científicas.

Un segundo aspecto tiene que ver con la noción de teoría como un todo estructurado de conceptos. En efecto, la identidad de una teoría se constituye sobre la base de una serie de términos, siempre más de uno, que se denominan "términos fundamentales" y cuyo enlace constituye las llamadas "leyes fundamentales de la teoría". Ejemplos de estas leyes son la ley de conservación del momento, el segundo principio de Newton, la ecuación de Gibbs, la ley de Euler en hidrodinámica, las ecuaciones de Lagrange, la ley del valor-trabajo en la teoría de *El Capital* de Marx, etc., etc. Estas leyes, como complejos estructurados de conceptos intervienen como un todo en la determinación de los términos en cada una de las teorías. Así, por ejemplo, la determinación de los valores numéricos de la función "masa" sólo puede establecerse, en el caso de la mecánica clásica de partículas, presuponiendo la validez del segundo principio de Newton que como sabemos es un todo estructurado donde aparecen enlazados todos los conceptos fundamentales de esa teoría, a saber: "partícula", "posición", "tiempo", "fuerza" y "masa".

Si bien en este caso, el término "masa" viene determinado por el complejo conceptual de la mecánica clásica de partículas, no podemos decir que la determinación de los términos en todas las teorías venga determinado exclusivamente por el complejo conceptual en el que dicho término aparece. De ser así las teorías científicas serían sistemas semánticos cerrados.

En las teorías existen muchos términos cuya determinación no depende de la teoría donde aparece, sino de otras teorías con las cuales existen vínculos interteóricos estrechos. Este vínculo interteórico es conocido como "relación de presuposición".

Si la determinación semántica de un término *t* depende de la teoría *T* en la que aparece, entonces el término *t* es *T*-teórico o dependiente relativamente de

T. Si en cambio su determinación semántica no dependen de T (la teoría en que aparece), sino de otra teoría T', el término t es T-no teórico, si bien T'-teórico.

Aunque hasta ahora sólo hemos hecho referencia a términos cuantitativos, las afirmaciones inmediatamente anteriores se cumplen para el caso de los términos cualitativos, sólo que para éstos la determinación no es de valores numéricos, sino de significados, en sentido estricto, una determinación semántica.

Dado que en las teorías científicas existen términos T-no teóricos, entonces siempre queda abierta la posibilidad de establecer vínculos interteóricos y, de esa manera disponer de una concepción holista de las teorías que, a diferencia de la de Quine, sería menos radical.

Un ejemplo para terminar es la reconstrucción teórico conjuntista de la mecánica cartesiana del choque. Esta teoría fijó como conceptos fundamentales los conceptos de "partícula", "espacio", "tiempo", "velocidad", "masa" y la función de "coordinatización del espacio físico" como una función biyectiva". Cada uno de estos conceptos presupone para su determinación o bien la propia mecánica de choque, o bien otras teorías con las cuales la mecánica de choque necesariamente entraría en relación. Algunas de estas teorías, diferentes a la mecánica de choque están perfectamente identificadas o incluso ya han sido axiomatizadas o cuasi-axiomatizadas. La determinación semántica del concepto de espacio presupone la geometría (física) euclídea (teoría ya axiomatizada); el de tiempo, la cronometría (teoría identificable); el de velocidad, la cinemática clásica (galileana); el de masa, la mecánica newtoniana de partículas o la mecánica del sólido rígido (teorías archi-axiomatizadas). No disponemos en la actualidad de una teoría bien definida para determinar el concepto de partícula, probablemente por que la teoría que le correspondería es tan elemental que nadie se ocupa de ella. Con todo esto lo que estamos reconociendo es la existencia de una serie de vínculos entre los modelos de la mecánica cartesiana de choque y otra serie de teorías y de ese modo desterramos la idea de que la mecánica de choque, como en general cualquier teoría, sea un ente autosubsistente, cerrado, una especie de mónada leibniziana.

Igualmente la reconstrucción de la mecánica del choque mostró que la determinación de la masa de una partícula puede presuponer la propia mecánica de choque, aunque de otro modelo distinto de aquel que se está considerando. En otras palabras, para realizar esta inferencia suponemos que el valor masa de la partícula no varía al pasar de un modelo a otro si el argumento de la función es el mismo en distintos modelos. Con esto lo que estamos haciendo es reconocer una vez más que existen además de los vínculos interteóricos (segunda idea de holismo semántico), vínculos intrateóricos entre los modelos de una misma teoría (primera idea de holismo semántico). Ambas reflexiones nos llevan a concluir que una visión holista acerca de las teorías, más que ser un *desideratum* o una moda, es una necesidad.

Holismo y reduccionismo en el desarrollo de la biología molecular

Luis Eugenio Andrade*

SUMMARY

Molecular Biology has successively alternated the holistic as well as the reductionist approach. Against the paradigm of the "fluidity of life", which dominated the ideas over enzymatic and cellular adaptation in the 40's, an antagonistic paradigm founded on the so called Central Dogma was advanced in the 60's. The latter is based solely on material and efficient causes, rejecting a finalist explanation. This reductionist and deterministic view centered on the gen, opened a fruitful field of research. Yet, from the 80's onwards, new descriptions on the dynamics and microstructure of the genome accumulated, as much as descriptions over the versatility of gen expression. As a result, the way was paved for framing a new working hypotheses that interprets the molecular processes of life through the theory of open hierarchical autonomous systems establishing a complementarity that goes beyond the former paradigms and reconciles Molecular Biology with some holistics aspects worked out by the new physics. A general outline for a new working hypotheses is described here.

RESUMEN

La Biología Molecular ha recurrido a la sucesiva alternación de enfoques reduccionistas y holistas. Al paradigma de la "fluidéz de la vida", que dominaba las concepciones sobre adaptación celular y enzimática en la década del 40,

* Profesor Asociado, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia.

se le opone a partir de la formulación del Dogma Central en los 60's la elaboración de un paradigma antagónico donde se trabaja únicamente con causas materiales y eficientes desechando todo tipo de concepción finalista. Se muestra cómo esta concepción se estructuró por una vía reduccionista y determinista entorno al gen, que abrió un fecundo programa de investigación científica. Sin embargo, a partir de los años 80's con la acumulación de descripciones sobre la dinámica y microestructura del genoma, por un lado y sobre la versatilidad de la expresión genética, por otro, estamos acercándonos a la elaboración de una nueva hipótesis de trabajo que reinterpreta los procesos moleculares de la vida a la luz de la teoría de los sistemas autónomos abiertos organizados jerárquicamente estableciéndose una complementariedad que va más allá de los paradigmas anteriores y reconcilia la Biología Molecular con algunos aspectos holistas desarrollados por la nueva física. Se describen los lineamientos generales para la propuesta de una nueva hipótesis de trabajo.

INTRODUCCION

La tensión entre holismo y reduccionismo radica en los presupuestos propios de cada perspectiva. Estos presupuestos incluyen un conjunto de concepciones, ideas e intuiciones que pueden surgir de teorías anteriores, hipótesis previas, patrones socio-culturales, elementos irracionales, mitos, ...etc. que de algún modo hacen preferir a priori un enfoque determinado. En el desarrollo del conocimiento el sujeto interactúa con una realidad compleja de la que él mismo es parte, lo que dificulta a posteriori explicar por qué se prefirieron ciertas opciones de partida y por qué, a lo largo del proceso, se pasa de un marco de referencia a otro aparentemente opuesto.

El reduccionismo consiste en un intento de entender el universo a partir de elementos constitutivos separables. Esta aproximación privilegia una causalidad unidireccional que podría asimilarse al predominio de las causas material y eficiente de Aristóteles, la primera representada por los átomos o moléculas que se mueven en el vacío y la segunda por las fuerzas que ponen en movimiento a estos corpúsculos.

Otro modo de interpretar el universo es considerarlo como una "totalidad" en flujo y movimiento perpetuo. A su vez, esta "totalidad" puede asumirse como una estructura orgánica, donde cada cosa tiene el lugar que le corresponde. En esta aproximación, la causalidad se expresa como una relación más compleja, que incluye las cuatro causas aristotélicas, no solamente la material y la eficiente sino la formal y la final.

Entre estas dos concepciones han oscilado muchas interpretaciones de la ciencia tradicional. Es corriente que los biólogos moleculares señalen peyorativamente las conceptualizaciones de tipo holista como "metafísicas" y por lo tanto estériles para el desarrollo del conocimiento científico. Esta crítica pierde peso si se considera que la perspectiva reduccionista, también descansa sobre presupuestos no explícitos, cuya objetividad se da por sentada desde un comienzo. Por ejemplo, en el enfoque reduccionista subyacen los siguientes supuestos: 1. Existen-

cia de un nivel fundamental de descripción. 2. Separatividad (observador-observado; organismo-entorno; separatividad de las partes de un sistema; etc.). 3. Existencia de un "observador objetivo". 4. Identificación del mundo real con lo que es físicamente mensurable. El problema radica en que estos "a priori" del reduccionismo no se explicitan, puesto que se confiere "status" ontológico a las diferentes categorizaciones que hacemos sobre los "constituyentes" de la naturaleza. Por otra parte, el reduccionismo minimiza el papel que cumplieron en su momento, algunas perspectivas de tipo holista y el papel que todavía podrían cumplir en el desarrollo de nuevos marcos explicativos.

Quiero mostrar que la complementariedad entre estos enfoques, a la larga resulta más fecunda y significativa que cualquiera de las opciones anteriores.

El reduccionismo permitió una gran acumulación de conocimientos fácticos valiosos, dentro de rangos bien delimitados de aplicabilidad y explicabilidad. El positivismo desplazó la visión holista de la ciencia oficial, en las primeras décadas del siglo XX, al equiparar este enfoque a una concepción más filosófica que empírica, que no se presta fácilmente a una contrastación experimental. Este hecho marcó significativamente el desarrollo de la biología molecular a partir de la segunda mitad del presente siglo.

Desde los albores del S. XX, la física se ha desplazado hacia conceptualizaciones indeterministas, el cuestionamiento al concepto clásico de materia y el abandono de las explicaciones de tipo mecanicista y atomista. En la biología a partir de la revolución darwiniana, la genética, el descubrimiento de la naturaleza química de los genes, la formulación del dogma central, el desciframiento del código genético y la elucidación del mecanismo de síntesis de proteínas, se ha movido en contravía de la física, hacia el determinismo, el mecanicismo y el atomismo genético. Este fenómeno se debe a que la biología se ha reinterpretado en términos compatibles con las descripciones clásicas.

Advertía al respecto Erwin Schrödinger (1951):

"Sea como sea, en los últimos cincuenta años, hemos sido testigos de un progreso científico general y de la física en particular, que ha transformado, como nunca antes lo había hecho, la visión occidental de lo que con frecuencia se ha dado en llamar la Condición Humana. No me cabe la menor duda de que tardaremos otros cincuenta años aproximadamente para que el círculo de los cultos se percate de este cambio"¹.

Esto es precisamente lo que ha ocurrido. Como señala D. Bohm², los biólogos moleculares siguen pensando las Leyes Naturales como un sistema autode-terminado de causas eficientes, que operan sobre un conjunto último de constituyentes materiales del universo. Estos constituyentes no se consideran como formados en un proceso y por lo tanto no se ven como estructuras integradas en

¹ SCHROEDINGER, E. 1985. Ciencia y Humanismo. Tusquet Ed. Barcelona. Primera edición.

² BOHM, D. 1980. Wholeness and the Implicate Order. Ark Papers, London & New York.

su lugar y función en un "todo". Los aspectos de la ciencia que sugieren una visión holista se desenfatan o se consideran como características de su expresión formal y no como indicación de la naturaleza real de los fenómenos. Subsiste el temor a una reinterpretación de la realidad. De este modo se llegó a la situación paradójica en las ciencias biológicas que hasta la primera mitad del siglo XX, habían recurrido a las explicaciones de tipo holista, hoy en día se han convertido en el baluarte más fuerte de las concepciones mecanicistas, atomistas y deterministas.

Dice Judson (1979) en su obra "El octavo día de la creación":

"El éxito espectacular de la biología molecular en el campo de la genética condujo a los científicos a aplicar sus métodos a otras áreas de la biología en un intento de resolver los problemas reduciéndolos al nivel molecular. De esta manera la mayoría de los biólogos se convirtieron en fervientes reduccionistas preocupados con detalles moleculares. La biología molecular, inicialmente una pequeña rama de las ciencias de la vida, se ha convertido en un modo general y exclusivo de pensar que ha conducido a serias distorsiones de la investigación biológica. La financiación se dirige hacia soluciones rápidas y hacia tópicos de moda, mientras que los problemas teóricos importantes que no se prestan a una aproximación reduccionista se ignoran. Nadie publica teoría en biología, salvo pocas excepciones.... Creo que en los próximos 25 años vamos a enseñar a los biólogos otro lenguaje que apunta hacia el problema fundamental de la teoría de sistemas elaborados... es equivocado creer que toda la lógica está en el nivel molecular. Tenemos que ir más allá del mecanismo de relojería"³.

Por otra parte las concepciones holistas íntimamente unidas a posturas vitalistas que defendían la irreducibilidad de la vida a explicaciones fisico-químicas hacen crisis, puesto que hay dificultades en delimitar las "totalidades". La totalidad del universo, como tal es intratable e indefinible. Pero, si consideramos un conjunto de sistemas jerárquicos abiertos podemos considerar cada nivel como una "totalidad". Se hace por tanto necesario el enfoque sistémico para superar la crisis intrínseca al holismo.

La tarea de la ciencia consiste en construir objetos-teóricos que permitan definir "subtotalidades" que se comportan como *todos*, que son a su vez *partes* constitutivas de un sistema jerárquico de organización superior. Negación de la "totalidad" en general para poder afirmar "subtotalidades-particulares" que se comportan simultáneamente como sistemas incluyentes de subsistemas y como sistemas incluidos en macrosistemas. Se debe por lo tanto tratar los todos como partes y las partes como todos, señalando que el problema fundamental es el de la jerarquización y la complejización.

En el presente trabajo se ubican los desarrollos más recientes de la biología molecular dentro del marco de nuevos sistemas interpretativos con el fin de ir educando a los biólogos en un lenguaje que vaya más allá del mecanismo molecular. Puesto que el desarrollo de esta perspectiva implica una complementariedad

³ JUDSON, H.F. 1978. The Eighth Day of Creation. Knopf, New York.

entre los paradigmas holista y reduccionista tradicionales, se ha hecho necesario incluir el análisis de algunas etapas críticas de la biología molecular, que como referenciales ineludibles permitan entender mejor la naturaleza de los debates actuales.

DEL HOLISMO AL REDUCCIONISMO

Influencias de la física cuántica en el pensamiento biológico

Según A. Szent-Gyorgyi la Bioquímica de los años 40's pasaba por una época muy particular. Decía:

"por medio de nuestras sustancias activas logramos producir las reacciones biológicas más asombrosas, pero fallamos siempre que queremos proponer una explicación de los mecanismos moleculares. Es como si algún dato básico sobre la vida todavía faltara y sin el cual cualquier comprensión se hace imposible. Puede ser que el conocimiento de los "niveles comunes de energía" inaugure una nueva época de la bioquímica, llevando esta ciencia al dominio de la mecánica cuántica"⁴.

Se intuía la insuficiencia del modelo mecánico y se entreveía una posible reducción cuántica que satisficiera las explicaciones biológicas. Se propone que las proteínas se comportan como estructuras que permiten la emergencia de niveles comunes de energía, donde los electrones de valencia dejarían de pertenecer a un átomo en particular para pertenecer al sistema molecular total generándose a través de las interacciones proteína-proteína un nivel continuo de energía por medio del cual los electrones excitados podrían viajar cierta distancia. Para Szent-Gyorgyi la química de las proteínas no explica cómo una proteína puede tener funciones vitales, a no ser que su estructura atómica actúe como soporte para la canalización de un nivel energético común más fundamental. De esta manera se explicaría el hecho de que las distintas macromoléculas se comporten como una totalidad organizada en el espacio celular. Si una célula forma un continuum de energía, una molécula que se le aproxime en cualquier punto puede alterar el sistema en su totalidad creando un hueco en este continuum interrumpido únicamente por las membranas celulares.

En 1932 N. Bohr⁵ había planteado que el concepto de complementariedad necesario para explicar el electrón era aplicable al estudio de los procesos biológicos. Proponía concebir la vida a través del modelo de la complementariedad dado por la mecánica cuántica, es decir el recurso permanente a dos puntos de vista complementarios, aunque sean incompatibles entre sí.

Otro concepto interesante de las propuestas en la investigación biológica era el de considerar la inseparabilidad de los genes con respecto a los otros consti-

⁴ SZENT-GYORGYI, A. 1941. Towards a New Biochemistry. Science, Vol.93. No.2426. pp.609-611.

⁵ BOHR, N. 1933. Light and Life. Nature, No.131. pp:421-423.

tuyentes celulares. Para Max Delbrück la herencia estaba controlada (no determinada) por los genes y el problema de la reproducción biológica no era reducible al problema de la reproducción de los genes puesto que ellos eran impensables fuera de una célula funcional intacta ⁶.

No obstante, la biología molecular no evolucionó de acuerdo a las intuiciones expresadas por Szent-Gyorgyi sino que transcurrió por un sendero que la condujo a propuestas compatibles con las descripciones clásicas.

El Paradigma de la "Fluidez de la Vida" y la Adaptación Enzimática

En 1940, sobre la síntesis de proteínas, se trabajaba la teoría propuesta por R. Schoenheimer⁷, que se convirtió posteriormente en el blanco de los ataques de Monod quien la caracterizó como "metafísica".

Schoenheimer presenta la imagen de un modelo fluido de moléculas de naturaleza proteica que están sometidas a un proceso continuo de cambio y transformación en el citoplasma celular. De esta manera explica la dinámica y espontaneidad de la vida para responder adaptativamente a los desafíos del medio. Schoenheimer se apoyó en los trabajos de Borsook y Keighley^{8, 9}, que permitieron demostrar que aún en animales adultos, se observa una alta tasa de recambio de proteínas corporales. Las interpretaciones dadas entonces a estos fenómenos, tenían una connotación holista donde la actividad celular se veía como un recambio continuo de proteínas a la manera "heracliteana", dejando de lado a los genes que "dan órdenes" que se ejecutan por un mecanismo desconocido. Según el paradigma de la adaptación enzimática, las enzimas no se fabrican "ex nihilo", ni a partir de sus elementos constitutivos, los amino-ácidos, sino a partir de una "proteína" fundamental que puede ser moldeada por diferentes inductores para dar lugar a la enzima necesaria.

De acuerdo con este modelo, las enzimas son proteínas que han adquirido una forma específica y están dotadas de la propiedad de reconocer estereoespecíficamente las moléculas sobre las que actúan, según el modelo de complementariedad llave-cerradura. El gen no determinaría rígidamente la estructura de las proteínas funcionales sino que ésta estaría determinada por las moléculas inductoras. Por tanto, dentro de esta óptica, un gen podría conducir a la producción de diferentes enzimas, según el inductor que hubiera entrado en contacto con la proteína "primordial". El gen se limitaría a permitir la fabricación de esta proteína. Hay que tener en cuenta que en esa época no había información sobre

⁶ MORANGE, M. 1983. Schrodinger et la Biologie Moléculaire Fundamenta Scientiae, Vol.4, Nos.3/4. p.223.

⁷ SCHOENHEIMER, R. 1942. The Dynamic State of Body Constituents. Cambridge, Mass.

⁸ BORSOOK, H. et al. 1953. Citado en CAMPBELL, P.N. et al. Biosynthesis of Proteins. Nature, Vol.171, No.4362, p.997.

⁹ SCHOENHEIMER, R. et al. 1953. Citado en CAMPBELL, P.N. et al. Obra citada, p.997.

la estructura de las proteínas; solamente 18 años después en 1958 se reporta la estructura tridimensional de la mioglobina por Kendrew¹⁰.

En 1941 G.W. Beadle y E.L. Tatum avanzaron la hipótesis "un gen, una enzima". Sin embargo, esta hipótesis no se concibió en su momento como una correlación que implicara una determinación causal, pues para muchos bioquímicos este planteamiento no era sino la expresión de la actividad "heterocatalítica" de los genes que induce, más no determina la síntesis de la proteína correspondiente.

Este modelo fluido, encontraba apoyo empírico en la inducción experimental de anticuerpos en animales y la "adaptación enzimática" en bacterias. De acuerdo con estas observaciones, los seres vivos parecían capaces de producir proteínas que podían interactuar específicamente con cualquier tipo de molécula que les fuera presentada.

Esta concepción dinámica de la vida dejaba de lado los genes, que al contrario se transmitían sin modificación de generación en generación. Desde el núcleo celular daban órdenes que se cumplían por mecanismos desconocidos. Los genes se consideraban como inaccesibles, y poseedores de una naturaleza química extraordinaria¹¹, presumiblemente proteica.

Posteriormente, en 1953 se podían identificar dos corrientes de pensamiento respecto al problema de la biosíntesis de las proteínas. Una que postulaba un acoplamiento por pasos de numerosas unidades peptídicas pequeñas y otra que postulaba la síntesis sobre moldes, cada uno de los cuales sería específico para cada proteína y probablemente identificables con un gen. Pero como postulara Campbell, la idea de gen resultaba todavía muy abstracta y se consideraba equivocado tratarla de concretar en una molécula de ácido nucleico o de proteína¹².

El Reduccionismo Fundamentalista de Monod

Monod, hijo de una familia de tradición calvinista, fue influenciado por el darwinismo. Su desarrollo intelectual está marcado por una evidente reacción contra el concepto de "fluidez de la vida", que abría espacio a explicaciones finalistas, que violaban el postulado de objetividad definido como:

"...la negativa sistemática a considerar capaz de conducir a un conocimiento verdadero toda interpretación de los fenómenos dada en términos de causas finales"¹³.

¹⁰ KENDREW, J.C. et al. 1958. Nature, No.181. p.662.

¹¹ STENT, G.S. 1968. That was the Molecular Biology that was. Science, Vol.160. p.392.

¹² CAMPBELL, P.N. 1953. Obra citada, p.1000.

¹³ MONOD, J. 1970. El Azar y la Necesidad. Ed. Orbis, S.A. Barcelona. p.13.

Monod propone que durante la adaptación hay síntesis total de proteínas nuevas, hecho que significó una verdadera revolución dentro de la bioquímica^{14,15}. Una vez demostrada la síntesis "de novo", sin necesidad de moldes inductores, Monod se pregunta, ¿qué pasa entonces con el inductor? Si no actúa como molde influyendo sobre la estructura de la enzima inducida, ¿cómo funciona? Esta pregunta la resuelve en 1960 al afirmar que el inductor no juega ningún papel en la síntesis de proteínas. Es evidente la influencia del trabajo de Burnet¹⁶, quien explica la producción de anticuerpos por un proceso de selección y no de inducción, al postular que los anticuerpos adoptan su estructura independientemente de las sustancias que inducen su fabricación. En 1960 pasó Monod a entender la adaptación enzimática también como un proceso de selección y abandona consecuentemente la idea de la adaptabilidad.

Posteriormente, Monod postula la existencia de genes reguladores, es decir genes independientes que codifican una proteína represora, que interactúa con el inductor para permitir o no la expresión del gen correspondiente a la proteína en cuestión¹⁷. La activación sería ejercida indirectamente por supresión de una inhibición. La molécula reguladora simplemente prende o apaga un sistema preestablecido genéticamente, según esté en contacto con el inductor o no¹⁸.

Al trabajar este modelo de regulación encontró que moléculas de lactosa modificadas químicamente (tiogalactósidos) actuaban como inductores efectivos para la producción de la beta-galactosidasa con la sorpresa de que la enzima inducida no degradaba estas moléculas. De esta manera el *Escherichia coli* se deja "engañar" por moléculas similares a la lactosa y al no tener manera de "corregir su error" muere. Es decir que su respuesta a estos inductores es no adaptativa. Con estas observaciones Monod prácticamente concluye su trabajo.

Se asiste a la consolidación del nuevo paradigma, presente en la formulación del dogma central por Watson y Crick. A partir de estas formulaciones el ser vivo se reinterpreta como una máquina rígidamente programada, tanto al nivel de la fabricación de sus piezas (proteínas) como a nivel de la regulación de esta fabricación (genes reguladores), dejando definitivamente de lado las explicaciones de tipo holista y vitalista que le precedieron. Es así como se llegó a considerar que a nivel molecular las respuestas adaptativas no son sino el fruto de una adaptación parcial seleccionada a partir de respuestas que en principio

¹⁴ MONOD, J. 1966. From Enzymatic Adaptation to Allosteric Transitions. Science, Vol.154. pp.475-483.

¹⁵ MONOD, J. et al. 1952. La Biosynthese des Enzymes (Adaptation Enzymatique). Advances in Enzymology. Vol.XIII, pp.67-119.

¹⁶ BURNETT, F.M. 1959. The Clonal Selection Theory of Acquired Immunity. Cambridge, Mass.

¹⁷ JACOB, F. et al. 1962. Sur la Nature du Represseur Assurant l'Immunité des Bactéries Lysogènes. Comptes Rendus Acad. Sci. Vol.254. pp.4214-4216.

¹⁸ MONOD, J. et al. 1963. Allosteric Proteins and Cellular Control Systems. J. Mol. Biol. 6:306-329.

no son adaptativas. Estas últimas provendrían de mutaciones al azar que afectan el DNA y que la adaptación no es sino el efecto de la selección natural.

Primeras Críticas al Mecanicismo Molecular

Entre los bioquímicos surgieron contradictores que no estaban satisfechos con la idea de respuestas no adaptativas, tal es el caso de D.E. Koshland quien con su modelo de complementariedad inducida, postuló que el planteamiento de Monod no era generalizable y tenía un margen reducido de aplicabilidad. Para Koshland la enzima es flexible y el substrato desempeña un papel importante, de modo que la especificidad de la enzima no es inherente a la estructura tridimensional de la molécula.

Por otra parte, Pierre P. Grassé no estuvo de acuerdo con que se generalizaran conclusiones de pruebas y observaciones derivadas de la respuesta bacteriana a distintos azúcares¹⁹.

Monod y Jacob describieron el operón lactosa de *Escherichia coli*. Sin embargo, la estructuración que supone el tener bajo un mismo sistema (operón) genes reguladores y estructurales difícilmente pudo alcanzarse por acumulación de mutaciones azarosas sobre el DNA y expresa más bien una serie de arreglos internos del genoma sometidos a un proceso interno de constante evaluación. El espectro de mutaciones puntuales refleja únicamente las fluctuaciones propias del sistema, confiriéndole estabilidad en entornos cambiantes y por ende incapaces de explicar el proceso de cambio evolutivo. Grassé señalaba al respecto que serían de mayor importancia los mecanismos moleculares que expliquen ganancia génica, que las variaciones puntuales. Por otra parte, los neutralistas²⁰, avanzaron la idea de que la mayoría de las mutaciones son neutras. Sólo una mínima proporción representarían variaciones afortunadas que se seleccionan porque confieren alguna ventaja. De esta manera surgirían variantes dotadas de alguna ventaja adaptativa, pero no necesariamente representarían la emergencia de un nuevo nivel de organización.

Por oposición a C. Waddington quien²¹ cuestiona el papel del azar y propone un modelo cuasi-finalista, donde se postula la existencia de caminos o tendencias preferidas por los procesos evolutivos²², Monod insiste en reafirmar una posición que sobrevalora el azar, diciendo:

"Solo el azar es la fuente de toda innovación, de toda creación en la biosfera. El azar puro, absolutamente libre pero ciego, constituye la verdadera base del estupendo edificio de la evolución. Este concepto central de la biología moder-

¹⁹ GRASSE, P.P. 1973. Evolución de lo Viviente. Ed. Hermann Blume, 1977.

²⁰ KING, J.L. & T.H. JUKES. 1969. Non Darwinian Evolution. Science, Vol.164, pp:788-798.

²¹ WADDINGTON, C.H. 1952. En The Listener, citado por KOESTLER, A. 1978. Janus a Summing Up. Vintage Books. New York.

²² WADDINGTON, C.H. 1976. Hacia una Biología Teórica. Alianza Editorial, S.A. Madrid. pp:30-34.

na no es una hipótesis más dentro de otras hipótesis posibles. Es hoy en día la única hipótesis concebible, la única que se ajusta con los hechos observados y probados experimentalmente. No hay argumentos que conduzcan a suponer que este planteamiento pueda llegar algún día a revisarse"²³.

Monod deja de lado el problema de la estructuración, manejando un único nivel ontológico en el que el movimiento azaroso de los componentes conduce a la estructura resultante. Este problema no lo resuelve por estructuración jerárquica, sino por el hecho de que cree tener a su favor lapsos de tiempo tan largos, que acontecimientos con probabilidad cercana a cero, en contra de todas las previsiones. ¡Sin embargo, se dieron!

Este punto de vista fue criticado en su momento y aunque estas críticas no se incorporaron a la ciencia oficial, todavía son vigentes. Por ejemplo, se objeta que para producir una estructura funcional se requiere de un concierto armónico, regulado, coordinado y coherente de mutaciones y que no podemos tener una mutación aislada A, mantenerla durante incalculables generaciones hasta que la mutación B aparezca en el mismo linaje, y así C y D. Cada mutación sería borrada antes de que pudiera combinarse con otras. Si las mutaciones se mantuvieran silenciosas hasta que aparecieran las otras, no podrían haber sido seleccionadas, y si las mutaciones se expresaran antes de que aparezcan las otras, conducirían a deformidades o características no seleccionables por no constituir ventajas en ese momento. ¿Cómo explicar estos procesos entendiendo que las mutaciones son interdependientes dentro del organismo, el cual se comporta como un todo funcional y no como un mosaico de elementos independientes? Nuevos marcos explicativos deben dar cuenta de estas inquietudes. Tenemos, que la tradición mecanicista fue incapaz de ver que las mutaciones azarosas de los factores responsables de la herencia, eran irrelevantes al problema central del proceso evolutivo que requiere de ganancia informacional y de cambios simultáneos y coordinados de todos sus componentes.

En 1969, L. von Bertalanffy propuso que:

"El hecho de que una teoría tan vaga, tan insuficientemente verificable y tan alejada de los criterios aplicados en la ciencia "dura", se haya convertido en un dogma, solamente se puede explicar con base en argumentos sociológicos. Nuestra sociedad ha enaltecido tanto las ideas del mecanicismo, utilitarismo y el liberalismo económico, que en lugar de Dios, la Selección se ha entronizado como realidad última"²⁴.

De esta manera se entiende la demora en la comprensión de los conceptos revolucionarios que mencionará Schrödinger, con el agravante de que el papel todopoderoso del azar reemplazó las explicaciones dadas tradicionalmente en

²³ MONOD, J. 1970. Obra citada, p.113.

²⁴ VON BERTALANFFY, L. 1969. Beyond Reductionism. Koestler & Smythies, Ed. New York. p. 66.

términos de designio, dejando de lado la búsqueda de las leyes que rigen los procesos de estructuración y evolución biológica.

El mecanicismo molecular, rápidamente fue aceptado por la mayoría de la comunidad científica transformándose en el marco de referencia oficial. Se trata del paradigma del azar microscópico, absoluto en la génesis de las estructuras, que sirve para legitimar gracias a la necesidad impuesta por la selección, un determinismo rígido a nivel macro, manifiesto en el funcionamiento de los niveles superiores de organización. La razón newtoniana parece haber conquistado la base molecular de la vida. Su aspecto determinista entra en consonancia con la racionalidad manipuladora de la ciencia, que a su vez se refuerza con el surgimiento de la ingeniería genética y la biotecnología. Pues, ¿cómo podríamos siquiera pretender manipular un ser vivo, o un gen, si no lo concebimos como sujetos a restricciones deterministas claramente definibles?

HACIA UNA NUEVA HIPOTESIS DE TRABAJO

La visión mecanicista reduccionista entorno al gen sigue teniendo vigencia como primera aproximación, aunque se observan fisuras en su coherencia interna entrando a competir con hipótesis de trabajo diferentes, que incluyen algunas perspectivas de clara connotación holista que han sido planteadas en las últimas dos décadas. Se han descrito ampliamente una serie de fenómenos a partir de los años 70's que, si bien es cierto inicialmente ayudaron a articular el paradigma, y el dogma central de la biología molecular (DNA--RNA--Proteína), también dejan entrever la búsqueda de un marco explicativo diferente. Las nuevas descripciones han ido mostrando que en la biología molecular también podían aparecer paradojas. Entre otras podemos señalar las siguientes:

- a) El descubrimiento de los transposones y/o genes saltarines que nos presentan el genoma como una entidad dinámica²⁵.
- b) La presencia de un genoma silencioso constituido principalmente por secuencias altamente repetitivas que representan una gran proporción del contenido de DNA total²⁶.
- c) El descubrimiento de la naturaleza discontinua de los genes. La descripción de secuencias intrónicas no codantes intercaladas entre secuencias codantes o exones. Los fenómenos de recombinación interna que conducen a un reordenamiento de los exones de acuerdo a configuraciones precisas^{27, 28}. El

²⁵ COHEN, S. et al. 1980. Transposable Genetic Elements. Scientific American, 242: 40-50.

²⁶ BRITTEN, R.J. et al. 1971. Repetitive and Non Repetitive DNA Sequences and Speculations on the Origin of Evolutionary Novelty. Quant. rev. Biol. 46: 111-138.

²⁷ BREATHNACH, R. et al. 1977. Ovalbumin Gene is Split in Chicken DNA. Nature, 270: 314-319.

²⁸ GILBERT, W. 1978. Why Genes in Pieces?. Nature, 271: 501.

gen corresponde más a un evento fluido y complejo que a una entidad estática e indivisible claramente delimitable por un fragmento de DNA.

- d) El flujo reverso de información genética del RNA al DNA que va desde la identificación de retrovirus hasta la definición de secuencias de inserción, retrotransposones, retrosecuencias y pseudogenes²⁹. Estos fenómenos demuestran que el genoma además de estar sujeto a un flujo propio esta también sometido a algún tipo de retro-alimentación desde el exterior del núcleo.
- e) El papel activo enzimático que juegan las moléculas de RNA sobre enlaces fofodiéster³⁰ o sobre enlaces aminoacil éster³¹, difuminándose las diferencias entre moléculas informacionales y moléculas catalíticas.
- f) La evolución coincidente o "concertada" donde la amplificación y dispersión de un mismo tipo de mutación se extiende horizontalmente a través de todos los genes que componen una determinada familia génica³². Esta hipótesis propone como base del proceso evolutivo, la dinámica interna del genoma que se manifiesta en fenómenos como inserciones, transposiciones, movilización de retroelementos, entrecruzamientos desiguales y conversión génica^{33,34}.
- g) La decodificación del DNA mediada por procesos alternativos de corte y empalme del RNA para eliminar las secuencias intrónicas, sean estos producto de las mismas unidades de transcripción o de transcritos diferentes. Igualmente, la descripción de la actividad editora o correctora que adiciona información no contenida en el DNA al RNA con el fin de hacerlo funcional creando un codón de iniciación^{35,36}.

²⁹ WEINER, A. 1986. Non Viral Retroposons: Genes, Pseudogenes and Transposable Elements Generated by Reverse Flow of Genetic Information. *Annu. Rev. Biochem.*, 55: 631-661.

³⁰ KRUGER, K.P. et al. 1982. Self-splicing RNA: Autoexcision and Autocyclization of the Ribosomal RNA Intervening Sequence of Tetrahymena. *Cell*, 31: 147-157.

³¹ PICCIRILLI, J. et al. 1992. Aminoacyl Esterase Activity of the Tetrahymena Ribozyme. *Science*, 256: 1420-1424.

³² DOVER, G. 1986. Molecular Drive in Multigene Families: How Biological Novelty Arise, Spread and are Assimilated. *Trends in Genetics. TIG.* pp.159-164.

³³ DOVER, G. 1982. Molecular Drive: a Cohesive Mode of Species Evolution. *Nature*, 299: 111-117.

³⁴ DOVER, G. 1986. *TIG.* Obra citada, pp.159-164.

³⁵ DONELSON, J.E. et al. 1990. A Comparison of Trans-RNA Splicing in Trypanosomes and Nematodes. *Parasitology Today*. Vol.6. No.10. pp:327-334.

³⁶ BRENDA, L.B. 1991. Splicing the New Edition. *Nature*, 352: 283-284.

- h) La reprogramación de la decodificación del DNA, dada por una serie de instrucciones contenidas en la secuencia del RNA mensajero que especifican la manera como debe ser leído, unas veces alterando el mecanismo de lectura lineal y otras cambiando el sentido de los codones³⁷. El RNA mensajero se ve como una instancia de toma de decisiones respecto a las correcciones de estilo que debe sufrir el texto.
- i) La aparición de hipótesis que permiten sugerir que el origen de la vida no estuvo circunscrito a un evento único^{38,39} (aquel dichoso acontecimiento cuya probabilidad de ocurrencia según Monod, es cercana a cero!).
- j) El origen tripartito de la vida. Según se desprende de los estudios filogenéticos hechos por comparación de la molécula de RNA ribosomal, tres grandes líneas se habrían originado a partir de un antepasado universal o progenote (arqueobacterias, eubacterias y urcariotes). Los procariotes se dividirían en dos reinos y el núcleo eucariótico sería tan antiguo como ellos, no habiendo lugar para un ancestro eucariótico sino múltiples procesos endosimbióticos (urcariotes-eubacterias)⁴⁰.
- k) El problema de la información tridimensional o la naturaleza de las interacciones específicas entre el RNA de transferencia y la aminoacil-sintetasa, denominado segundo código genético^{41,42}.
- l) La regulación del desarrollo mediada por los genes homeóticos, donde mutaciones puntuales pueden conducir a cambios en el plan de estructura corporal. Igualmente la coordinación de los genes de regulación por medio de una sofisticada red informática mediada por diversos factores de transcripción, a través de la cual los "los genes hablan entre sí" ^{43,44}.

³⁷ GESTELAND, R.F. et al. 1992. Recoding: Reprogrammed Genetic Decoding. *Science*, 257: 1640-1641.

³⁸ WACHTERSHAUSER, G. 1988. Before Enzymes and Templates: Theory of Surface Metabolism. *Microbiological Reviews*. Vol.52, No.4, pp:452-484.

³⁹ SCHABE, C. 1985. *Origin of Life*, 15: 213-216.

⁴⁰ WOESE, C. Citado en HILLS, D. & DIXON, M. 1991. Ribosomal DNA: Molecular Evolution and Phylogenetic Inference. *The Quarterly Review of Biology*. Vol.66, No.4, pp. 441-453.

⁴¹ De Duve, C. 1988. The Second Genetic Code. *Nature*, 333: 117-118.

⁴² HOU Y. et al. 1988. A Simple Structural Feature is a Major Determinant of the Identity of a Transfer RNA. *Nature*, 333: 140-145.

⁴³ De ROBERTIS et al. 1990. Homeobox Genes and the Vertebrate Body Plan. *Scientific American*. Vol.263. No.1. pp:46-52.

⁴⁴ BEARDSLEY, T. 1991. Smart Genes. *Scientific American*. Vol.265. No.2. pp: 86-95.

- m) La existencia de proteínas "chaperonas" que son imprescindibles para la correcta determinación de la estructura tridimensional de las proteínas que acompañan. En otras palabras no toda la información esta contenida en la secuencia de aminoácidos, sino que una determinada estructura tridimensional sólo se alcanza por un proceso de autoensamblaje asistido por otra proteína que interactúa con la proteína en cuestión durante su síntesis⁴⁵.
- n) Los fenómenos de transferencia génica lateral entre organelos⁴⁶, intra e interespecífica⁴⁷, compatibles con la óptica del genoma como sistema abierto en flujo.
- o) El desplazamiento del concepto de gen como base del atomismo genético por una redefinición del mismo como una estructura compleja compuesta por "microgenes"⁴⁸.
- p) La descripción de mutaciones adaptativas en bacterias⁴⁹ y en levaduras⁵⁰, al constatar su aparición con una frecuencia superior a la que cabría esperar por puro azar.
- q) La herencia epigenética, manifestada por ejemplo en la conservación hereditaria del patrón de arreglo de las proteínas de la matriz nuclear⁵¹, característico para cada una de las diferentes líneas celulares.
- r) La teoría de campo cromosómico de Lima de Faria (1976) en la que se presenta al cromosoma como un sistema holístico coordinado que se organiza con base en mensajes moleculares. Se trata de un sistema autoorganizante capaz de eliminar y reconstruir sus unidades operacionales dependiendo de las funciones fisiológicas requeridas por sus propios genes y cuya dinámica de auto-organización esta coordinada a nivel celular⁵².

⁴⁵ ELLIS, R.J. 1991. Molecular Chaperones. *Annu. Rev. Biochem.* 60: 321-347.

⁴⁶ STERN, D. et al. 1982. Mitochondrial and Chloroplast Genomes of Maize Have a 12-Kilobase DNA Sequence in Common. *Nature*, 299: 698-702.

⁴⁷ DOOLITTLE, R.F. et al. 1990. A Naturally Occurring Gene Transfer from a Eukaryote to a Prokaryote. *J. Mol. Evol.* 31: 383-388.

⁴⁸ SEIDEL, H.M. et al. 1992. Exon as Microgenes? *Science*, 257: 1489-1490.

⁴⁹ CAIRNS, J. et al. 1988. The Origin of Mutants. *Nature*, 335: 142-145.

⁵⁰ STEELE, D.F. et al. 1992. An Examination of Adaptive Reversion in *Saccharomyces cerevisiae*. *Genetics*, 132: 9- 21.

⁵¹ DANCHIN, A. 1987. The Significance of Split Genes to Developmental Genetics. *Advances in Genetics*, 24. p.263.

⁵² LIMA de FARIA, A. 1976. The Chromosome Field. *Hereditas*, 83: 1-34, 139-152, 175-190 and 84: 19-34.

A continuación presento el resultado de un esfuerzo de integración y sistematización de algunos puntos que sirven de guía en la fundamentación de una nueva hipótesis de trabajo (H.T.). Estos se exponen en contraposición al Holismo (Hol.) y Reduccionismo (Red.) tradicionales, para mostrar que la complementariedad permite ir más allá de estas perspectivas. Se trata de una hipótesis preliminar que surge como resultado de una integración de algunos elementos esbozados por diversos autores como C. Waddington, M. Eigen, G. Dover y L. Buss, y otros de mi propia cosecha. Esta hipótesis se concreta en una propuesta interpretativa, donde señalo tendencias y posibles caminos a explorar. Con este enfoque, las descripciones moleculares recientes encuentran, en mi opinión, un marco explicativo más fértil y coherente. Algunos planteamientos reviven las viejas polémicas entre Lamarckismo y Darwinismo, pero su resurgimiento a partir del desarrollo de la biología molecular, durante las últimas dos décadas no deja de ser fascinante.

1. Niveles Ontológicos.

Hol.:

Se reconocen distintos niveles de organización poseedores de propiedades emergentes cualitativamente diferentes de las deducibles a partir del nivel inmediatamente inferior.

Red.:

Aunque se definen varios niveles de organización en últimas se maneja un único nivel ontológico al cual se reducen los demás.

H.T.:

Se definen varios niveles jerárquicos de organización irreducibles a un nivel fundamental. No hay un nivel fundamental de descripción. Los niveles de organización se entienden como sistemas relativamente autónomos dotados de dinámicas propias. Los niveles son abiertos y están sujetos a interacciones permanentes entre ellos. Un nivel al interactuar con otro puede inducir cambios en él, pero sin especificar el tipo de cambio; éste depende de la dinámica y estructura del nivel que cambia. De esta manera los distintos niveles se van acoplando entre sí, dando lugar a una totalidad inseparable.

2. Concepto de Vida con respecto a las Leyes Físicas.

Hol.:

La vida es en principio irreducible a las leyes físicas clásicas. La vida es, en sí, una paradoja que como tal debe ser el punto de partida de la investigación biológica. Se considera que el estudio de la vida puede dar lugar al descubrimiento de nuevas leyes físicas.

Red.:

La vida es deducible de las leyes físicas clásicas. No obstante, se introducen los conceptos de información, neguentropía y azar, para explicar los procesos de organización.

H.T.:

La vida es irreducible a las leyes físicas aunque es compatible con ellas. Mas aún, las leyes físicas descritas para sistemas abiertos lejos del equilibrio termodinámico y las leyes estadísticas de la mecánica cuántica ondulatoria proporcionan un modo de entender la naturaleza más cercano a la comprensión del fenómeno vital.

3. Metáforas preferidas.

Hol.:

Se recurre a nociones de tipo vitalista o animista, como entelequias o impulsos innatos de la materia viviente a perfeccionarse.

Red.:

El concepto vitalista de entelequia se transforma en el de "programa genético", resultando atrayente la metáfora del ordenador dotado de memoria, programa e información. Igualmente se sigue proponiendo la metáfora del mecanismo o maquinaria molecular.

H.T.:

Parece inevitable el resurgimiento de metáforas de clara connotación vitalista, aunque de corte fisicalista, por ejemplo, "sistemas auto-organizantes", "vórtices creadores", etc. La vida como tal, comienza a inspirar metáforas aplicables a otras disciplinas.

4. Separabilidad de los constituyentes.

Hol.:

Las unidades constitutivas no se consideran separables. La separación destruiría la vida como tal.

Red.:

Se definen las macromoléculas como unidades constitutivas separables. Las propiedades de los componentes permiten aproximarse a la comprensión del sistema viviente al no haber diferencia cualitativa entre la parte y el todo.

H.T.:

Se postula la separabilidad de los constituyentes como una primera aproximación. Sin embargo la imposibilidad conceptual de separar los procesos y las unida-

des constitutivas gana terreno como perspectiva aceptable, puesto que las totalidades se consideran cualitativamente diferentes de sus unidades constitutivas.

5. Relación con el entorno y adaptación.

Hol.:

Respuesta adaptada a los estímulos del medio, tal como se expresa en el postulado de la adaptabilidad enzimática.

Red.:

Respuesta aleatoria y por tanto no adaptada. Hay sin embargo tendencia a la adaptación como consecuencia de la acción de la selección natural.

H.T.:

Se renuncia al programa adaptacionista común a las propuestas anteriores. Los sistemas son impensables separados de su entorno. Tanto los organismos como el entorno constituyen sistemas autónomos, sin embargo tras un proceso permanente de interacciones se generan reajustes estructurales entre ellos. Solamente en este sentido puede decirse que hay un forcejeo tendiente a la adaptación de algunas estructuras. Por otra parte, la vida al evolucionar va creando un medio con el cual se relaciona de modos impredecibles. Sin embargo, cuando el entorno selecciona algunas estructuras que se adaptan, simultáneamente coopta por otras no adaptadas o neutras. Estas últimas pueden hacer parte, pero no necesariamente, de un materia prima de reserva para futuras adaptaciones mediante la adquisición de nuevas funciones.

6. Necesidad.

Hol.:

Hay una necesidad interiorizada por el organismo o inherente a la misma materia viviente.

Red.:

La necesidad es impuesta desde el entorno al organismo.

H.T.:

Hay una necesidad interiorizada que restringe las exigencias de la necesidad externa. Igualmente la necesidad impuesta desde afuera restringe las exigencias de la necesidad interiorizada. El sistema se reajusta imprevisiblemente haciendo un compromiso entre los factores deterministas internos y externos.

7. Azar.

Hol.:

No da lugar al Azar.

Red.:

Se sobrevalora el papel del azar. La vida es un producto del azar. En los organismos los genotipos varían al azar. Los fenotipos también varían al azar al estar rígidamente determinados por los genotipos.

H.T.:

Se restringe el papel del azar intrínseco. Las restricciones al azar debidas a las propiedades de las estructuras de partida y las impuestas por el entorno son fundamentales para explicar la génesis de las estructuras más complejas. Las fluctuaciones procedentes del entorno son la resultante de un complejo proceso evolutivo y por lo tanto no azarosas. En los organismos pueden ocurrir cambios genéticos debidos al azar, igualmente, también pueden ocurrir cambios dirigidos hacia una respuesta adaptativa. Sean azarosos o dirigidos, lo importante para la vida es el mantenimiento de una estructura altamente coordinada y armónica. Las variaciones fenotípicas no se dan al azar, sino de acuerdo a su interacción con el entorno durante el desarrollo.

8. Finalidad:

Hol.:

En este esquema caben finalidades trascendentes y/o inmanentes.

Red.:

Se rechaza concientemente todo tipo de explicación finalista, pero inconcientemente se trabajan finalismos muy peculiares, como el implícito en la noción de programa genético.

H.T.:

Hay finalidades inmanentes. El fin es inherente a la vida misma. Los sistemas crean su propia finalidad al evolucionar y constituirse como tales, siendo ella su tendencia a autoperpetuarse y buscar nuevos grados de organización y estructuración. Esta finalidad se percibe desde el nivel de organización superior que impone restricciones a las variaciones del sistema de organización inferior. Procesos como la replicación del DNA, la división celular o la ontogenia pueden verse como finalistas y conservativos pero alcanzables por estrategias flexibles y por tanto capaces de amortiguar las perturbaciones que pudieran afectarlos. Las estrategias para alcanzar estos fines no están determinadas rígidamente pudiendo generar variantes susceptibles de explorar nuevos caminos evolutivos. La filogenia como proceso abierto en permanente construcción carece de un propósito esperando en el futuro al final del camino, no obstante, va creando su propósito identificable con la realización óptima del potencial evolutivo.

9. Selección:

Hol.:

La selección no juega un papel importante a nivel molecular y celular puesto que se considera que las unidades de selección son los organismos.

Red.:

Se abre camino la idea del gen como la única unidad de selección⁵³. Los genes son egoístas, que utilizan los otros niveles de organización como vehículo para su beneficio.

H.T.:

Se reconoce la importancia de la selección a nivel molecular y a nivel genético, pero no como única instancia donde actúa. La selección esta presente en cada uno de los diferentes niveles de la organización jerárquica. Todas las entidades autorreplicantes son "egoístas". Los diferentes sistemas no son objetos pasivos de la selección natural y de las fuerzas evolutivas sino entes activos que participan en el trazado de sus propias estrategias y en la creación de sus condiciones de selección. Cada nivel de estructuración le presenta al sistema una gama de opciones. El sistema con mayores opciones o con mayor poder de selección es finalmente seleccionado al tener más posibilidades de subsistir en un número mayor de circunstancias. Se trata de sistemas que como propone M. Eigen: "seleccionan un poder óptimo de selección"⁵⁴.

10. Causalidad:

Hol.:

Causalidad multipolar representada por la combinación de las causas aristotélicas: material, eficiente, formal y final, que están representadas tanto en el organismo como en el entorno.

Red.:

Reducción a causas material y eficiente representadas en los genes y en la presión de selección respectivamente, dando lugar a una causalidad unidireccional determinista.

H.T.:

Permite identificar como primera aproximación las cuatro causas aristotélicas. Causa formal internalizada por el mismo sistema que a su vez se identifica

⁵³ DAWKINS, R. 1985. El Gen Egoista. Salvat Ed. S.A. Barcelona. pp: 29 y ss.

⁵⁴ EIGEN, M. 1971. Molecular Self-Organization and the Early Stages of Evolution. Quant. Rev. Biophysics, 4, 149.

con la causa material. Causa final que actúa desde el macrosistema que lo contiene. Causa eficiente dada por la dinámica de las unidades constitutivas. De esta manera se muestra cómo la causalidad clásica y el finalismo convergen en la estructura de los sistemas organizados jerárquicamente. No obstante esta hipótesis pretende ir más lejos, la relación no determinista entre dos eventos se ve mediatizada por una intrincada red de relaciones multicausales, donde todo tiene que ver con todo. Así mismo se propone complementar las explicaciones causales con la identificación de conexiones que no implican necesariamente una relación causa- efecto. Los nexos acausales corresponderían a una manifestación del incesante despliegamiento de la estructura viviente.

11. El gen.

Hol.:

El gen hace parte de la causa formal. Controla, no determina.

Red.:

El gen se concibe como base del atomismo genético que actúa como causa material y eficiente dentro de una esquema lineal determinista. Son necesarios y suficientes.

H.T.:

El gen se entiende como una subtotalidad concreta poseedor de microestructuras y como una parte constitutiva de jerarquías genéticas. Los genes hacen parte de las causas materiales y eficientes, aunque no exclusivamente. Los genes actúan a través de una intrincada red multicausal no determinista. Son necesarios pero no suficientes.

12. El genoma.

Hol.:

Genoma inseparable del sistema celular.

Red.:

Genoma intocable y estático, solamente sujeto a las variaciones azarosas de la mutación. Se enfatiza la separación núcleo-citoplasma y entre las líneas somática y germinal.

H.T.:

El genoma es relativamente intocable y posee una naturaleza dinámica. Se restringe el margen de validez de la hipótesis de Weissman, al mostrarse que la mayoría de los seres que componen la biosfera (procariotes, protistos, hongos, plantas y algunos invertebrados), no presentan una separación entre la línea somática y la germinal. Esta separación se mantiene como aproximación para

animales superiores⁵⁵. Por otra parte los procesos de transcripción reversa y la existencia de retrovirus cuestionan la intocabilidad del genoma, al poner en evidencia que éste no esta exento de retroalimentaciones. Además se comienza a entender el genoma como sujeto a un flujo interno propio, con las restricciones impuestas por el medio cromosómico, nuclear y citoplasmático.

13. Jerarquías moleculares.

Hol.:

De acuerdo al paradigma enzimático, las proteínas se ven como la "materia primera" susceptibles de ser "instruidas". El flujo citoplasmático permanente de las mismas es la base de los procesos vitales.

Red.:

De acuerdo al paradigma informático, el DNA se considera como la molécula vital por excelencia. Las proteínas pasan a ser subsidiarias de los genes que las determinan.

H.T.:

Se configura todo un esquema evolutivo y de génesis de la vida entorno al RNA. El RNA se convierte en una suerte de molécula primordial en la que convergen tanto las propiedades catalíticas como las informativas. Además, se rescata la importancia de las proteínas como estructuras fundamentales en la construcción de sistemas epigenéticos semiautónomos.

Sin embargo, para esta nueva hipótesis pierde sentido la noción de molécula fundamental, que se sustituye por la de procesos fundamentales.

14. Información.

Hol.:

No se habla de información sino de procesos de instrucción desde afuera del sistema. Este fenómeno correspondería a un tipo información estereoespecífica.

Red.:

Hay un lenguaje unidimensional a nivel del código genético, que es la base de la información entendida como programa. Hay una dirección única en el flujo informativo, (dogma central). Crick afirma que: "Una vez, que la información, ha pasado del DNA a las proteínas, no puede salir de nuevo"⁵⁶.

⁵⁵ BUSS, L.W. 1987. The Evolution of Individuality. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. pp: 4- 25.

⁵⁶ CRICK, F. 1988. What Mad Pursuit: A Personal View of Scientific Discovery. New York: Basic Books. p.109.

H.T.:

Además del código unidimensional (información programa) se comienzan a definir interacciones (información tridimensional) DNA-proteína, DNA-RNA, RNA-RNA, RNA-proteína y proteína-proteína que dan lugar a nuevos tipos de señales que adquieren nuevos significados según el contexto.

Aunque la Biología molecular no ha descrito ningún tipo de transferencia de información, de las proteínas al DNA, ni desde el entorno al genoma, la imposibilidad de tal flujo informativo no ha sido demostrada. Sería sorprendente que estuviera absolutamente prohibido por alguna ley de la naturaleza.

15. Organización fenotípica.

Hol.:

El fenotipo correspondería a una manifestación del flujo constante de las proteínas y/o a una expresión de la actividad heterocatalítica de los genes. Es susceptible de modificación por acción del medio.

Red.:

Características fenotípicas determinadas por los genes. El fenotipo sería la suma de características fenotípicas y por lo tanto deducible del genotipo. El entorno selecciona los genes, no directamente, sino por intermedio de los fenotipos.

H.T.:

El fenotipo es mayor que la suma de características fenotípicas y por lo tanto no es deducible del genotipo.

El fenotipo depende tanto del genotipo como del entorno. Se postula que debe haber una ley que estructura los elementos del genotipo para dar un fenotipo determinado. Por ejemplo si tenemos los números 1 y 1 por sí mismos no nos dan una información pero si en cambio tenemos los números 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13....deducimos que están ordenados de acuerdo a la serie de Fibonacci construida a partir de los dos primeros 1 y 1. La serie sería el fenotipo y los dos primeros números el genotipo. La ordenación de acuerdo a la serie de Fibonacci sería la ley de construcción del fenotipo a partir del genotipo.

16. Evolución y cambio.

Hol.:

Se acepta la ocurrencia de cambios graduales provocados por respuestas adaptativas. No obstante, se trabaja con la hipótesis de que los fenómenos moleculares y celulares en flujo perpetuo, corresponden a los patrones conservados, constantes y comunes a todos los seres vivos. La evolución es ante todo un problema de los organismos y no es necesariamente dependiente de cambios previos a nivel molecular.

Red.:

Hay una evolución gradual y adaptativa a nivel de los organismos, como consecuencia de la selección de cambios previos azarosos a nivel molecular y/o genético. La evolución se interpreta como la supervivencia diferencial de genes en una población.

H.T.:

La evolución ocurre tanto por cambios discontinuos o bruscos como por cambios graduales o continuos. Igualmente hay tanto procesos adaptativos como no adaptativos. La evolución no es un problema exclusivo de los organismos sino de todos y cada uno de los niveles de organización. La evolución es el proceso de construcción de unidades de selección. Los sistemas moleculares autorreplicantes corresponden a las primeras unidades de selección⁵⁷, que sirvieron de base para la configuración de niveles superiores de organización. Los organismos corresponden a las unidades de selección evolutivamente más recientes. Una vez que se configuraron los niveles celulares, los cambios moleculares se fueron restringiendo y congelando (a nivel del código), de tal manera que acumulan con el tiempo: o mutaciones neutras que no alteran la estructura de los niveles superiores o mutaciones que le permiten a los niveles superiores mayores posibilidades de utilización del entorno⁵⁸. No obstante, el hecho de que apenas el 1 % del genoma de los organismos superiores se exprese genéticamente, permite pensar al genoma como depositario de un gran reservorio de cambios potenciales.

CONCLUSION

He ilustrado a través del desarrollo de la biología molecular cómo los distintos enfoques corresponden a modos de racionalizar correlativos a presupuestos diferentes, pero compatibles y complementarios cuando se examinan con detenimiento. El hecho de estar respaldados por algún presupuesto de partida, no invalida de por sí ninguna aproximación, pues lo importante no es escoger entre el reduccionismo y el holismo per se, sino saber en qué momento puede ser oportuno y fecundo enfocar un problema particular del conocimiento científico a través de una u otra perspectiva. Por tanto, no se trata de renunciar a todo lo que es reduccionista ni de aceptar acríticamente cualquier perspectiva de tipo holista, sino de elaborar síntesis originales y creadoras que descubran nuevas relaciones en los diferentes niveles de los fenómenos estudiados. Puesto que los diferentes conceptos abstraídos de la realidad gozan de cierta autonomía, una vez construidos se pueden usar siempre y cuando se pongan de manifiesto sus

⁵⁷ EIGEN, M.; GARDINER, W.; SCHUSTER, P. & WINKLER- OSWATITSCH. 1981. The Origin of Genetic Information. Scientific American. 244 (4): 78-94.

⁵⁸ BUSS, L.W. 1983. Evolution, Development and the Units of Selection. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 79: 5337-41.

límites. Por consiguiente el nivel genético dejaría de considerarse como el principio explicativo fundamental. A su vez, para una mejor comprensión de los procesos a nivel genético habría que identificar diferentes microjerarquías propias de éste nivel. Habrá casos en que el principio explicativo implica la definición de un nuevo objeto teórico o "subtotalidad concreta". La experiencia permitirá delimitar los rangos de validez del modelo identificando ojalá los casos en los cuales no es aplicable.

La integración de las descripciones moleculares de la vida dentro del marco de los sistemas jerárquicos de organización, abiertos termodinámicamente y autónomos en sus procesos de estructuración, ofrece mayor poder explicativo que el paradigma mecanicista hasta ahora dominante.

Así mismo, se impone enfatizar las redescrpciones de la biología que la reconcilian con enfoques desarrollados por la nueva física, tales como: complementariedad, inseparabilidad, flujo, campos, autoorganización, indeterminismo, orden, caos, pero en esquemas que permitan su operabilidad a nivel del desarrollo de modelos teóricos y experimentales, y no como una mera elucubración sobre el proceso. A pesar de todo, la reducción de los procesos moleculares de la vida a la nueva física, no parece posible, aunque de este intento podemos aprender mucho.

Paradigmas y metáforas: pasos hacia una epistemología integradora y participativa

Antonio Elizalde*

"No hay en la Tierra una sola página, una sola palabra, que sea sencilla, ya que todas postulan el universo, cuyo más notorio atributo es la complejidad."

(Jorge Luis Borges)

"Los conceptos nos permiten pensar, pero también nos lo impiden. Fijan los límites a los que dirigimos nuestra atención y al hacerlo, recortan de la multiplicidad un fragmento con sentido; al mismo tiempo dejan en sombras una riqueza múltiple, cierran nuestro pensamiento y tienden a convencernos de que el recorte es el mundo.... Así nos movemos, atrapados por nuestras propias redes; y lo conceptualizable termina siendo muchas veces lo único pensable. Pero esta construcción no es sólo nuestra; nos incorporamos a un mundo conceptual y aunque lo hacemos nuestro y propio, éste arrastra el sedimento de otras épocas y de ésta, emociones lejanas y próximas, valores nuevos y antiguos. Armados con nuestros conceptos, aislamos de la realidad algunos planos y les llamamos hechos; este bautismo les presta fuerza, solidez. De allí en más, los tenemos delante de los ojos; y lo que verdaderamente tenemos delante de los ojos, nuestra experiencia íntima y personal va perdiendo toda la fuerza que ganan aquellos. Los hechos reclaman métodos apropiados, métodos que no permitan que la investigación se desvíe, métodos que cierren el paso a lo que, de acuerdo al recorte, no sea fáctico, atrapable, conceptualizable. Al cabo, el círculo se cierra: esos "hechos" sólo pueden ser abordados mediante los métodos legítimos."

(María del Rosario Lores)

* CEPAUR y Universidad Bolivariana.

"El proceso definitorio verdadero... ha de circunscribir, fijar o señalar fronteras; constituir, por tanto, universos. Su preocupación no son los individuos, sino los espacios teóricos en los que los individuos habrán de existir. Pero resulta que en todo tiempo la operación definitoria se encuentra con una constelación dada - aquella sistematización que, por razones suficientes, se ha impuesto dentro de lo posible (Leibniz, con un profundo concepto, la denomina lo *componible*). De ahí que la definición, al no poderse casar con ninguna situación dada so pena de perder el resto, haya de trascender lo dado, *rescatando* así lo posible para el mundo de los vivos: para la realidad de la que es parte."

(Augusto Serrano)

"Mi opinión es que el mundo de la *creatura*, del proceso espiritual, es a la vez tautológico y ecológico. Quiero decir que es una tautología que lentamente se cura a sí misma. Librada a sus propios medios, toda gran porción de *creatura* tenderá a encaminarse hacia la tautología, vale decir hacia la *congruencia interna* de las ideas y procesos. Pero de vez en cuando la congruencia se quiebra, la tautología es hendida como la tersa superficie de un estanque cuando se le arroja una piedra. Entonces lenta pero inmediatamente, comienza a curarse y esa curación puede ser implacable, llevando al exterminio de especies enteras.... yo supongo que bajo la lente de un macroscopio suficientemente grande, ninguna idea puede ser errónea, ninguna finalidad puede ser destructiva, ninguna disección puede estar descaminada.... pienso que cierto desgarramiento del sistema ecológico tautológico es incluso, en cierto modo, bueno para él. Su capacidad de autocuración quizá necesite ser ejercitada."

(Gregory Bateson)

I. INTRODUCCION

"La epistemología es el conjunto de reflexiones, análisis y estudios acerca de los problemas suscitados por los conceptos, métodos, teorías y desarrollo de las ciencias. Puede surgir internamente del seno de la ciencia misma, exigida por crisis que amenacen o pongan en duda los fundamentos o los marcos conceptuales de ésta. O puede provenir del campo de la filosofía, como parte de una crítica o concepción más general acerca del conocimiento o la realidad. En cualquier caso, es siempre una toma de conciencia acerca del proceso de crear o justificar conocimiento, sin la cual éste puede transcurrir durante ciertos períodos. Sus métodos no comprenden la verificación o puesta a prueba empírica; pero sus construcciones deben contrastarse una y otra vez con las realizaciones efectivas de las comunidades científicas a lo largo de la historia. Así ocupa su lugar en la espiral continua en que la creación de conocimiento toma contacto con la realidad y se repliega sobre sí misma para evaluar sus resultados."¹

¹ Lores, M. 1986. *Hacia una Epistemología de las Ciencias Humanas*. Editorial de Belgrano, Buenos Aires, 1ª edición, pág. 135.

El comunicado final del Coloquio "La ciencia ante los confines del conocimiento: prólogo de nuestro pasado cultural" organizado por UNESCO con la colaboración de la Fundación Giorgio Cini y realizado en Venecia hace algunos años atrás, señalaba entre otras ideas: "Asistimos a una revolución importantísima en el ámbito de la ciencia, engendrada por la ciencia fundamental (especialmente la física y la biología), por las modificaciones radicales que introduce en la lógica, en la epistemología y, asimismo, en la vida cotidiana a través de las aplicaciones tecnológicas. Pero al mismo tiempo advertimos que existe un desfase importante entre la nueva visión del mundo que dimana del estudio de los sistemas naturales y los valores aún predominantes en la filosofía, las ciencias humanas y la vida de la sociedad humana, ya que dichos valores se basan en gran medida en el determinismo mecanicista, el positivismo o el nihilismo.... al tiempo que reconocemos las diferencias esenciales que existen entre la ciencia y la tradición, advertimos no su oposición, sino su complementariedad. El encuentro inesperado y enriquecedor entre la ciencia y las distintas tradiciones del mundo hace posible imaginar la aparición de una nueva visión de la humanidad y hasta de un nuevo racionalismo.... reconocemos también la urgencia de una investigación verdaderamente transdisciplinar mediante el intercambio dinámico de las ciencias "exactas" y las ciencias "humanas", el arte y la tradición. En cierto modo, esa metodología transdisciplinar está inscrita en nuestro propio cerebro merced a la interacción de sus dos hemisferios. Así pues, el estudio conjunto de la naturaleza y de lo imaginario, del universo y del ser humano podría acercarnos mejor a la realidad y hacer que podamos enfrentarnos con más propiedad a los desafíos que plantea nuestra época."

El propósito de este trabajo es sugerir caminos de reflexión para avanzar en la perspectiva abierta por la declaración de Venecia. Por tal razón ha tratado de generar provocaciones y de inducir preguntas, la mayor parte de las cuales no sólo quedan abiertas sino que además pueden molestar y perturbar. Si eso logro significa que ha tenido sentido el escribir estas páginas. Haciendo uso de los conceptos de paradigma y de metáforas he intentado realizar una crítica de la visión actualmente hegemónica en el mundo de la ciencia, y a la vez he tratado de sugerir formas de salir de las trampas del mecanicismo y del reduccionismo.

II. SOBRE EL PAPEL DE LAS METAFORAS EN LA CIENCIA

Etimológicamente metáfora proviene del griego y significa traslación. Según el Diccionario de la Lengua Española de la Real Academia, una metáfora es un tropo que consiste en trasladar el sentido recto de las voces a otro figurado, en función de una comparación tácita. Un tropo es el empleo de las palabras en sentido distinto del que propiamente les corresponde, pero que tiene con este alguna conexión, correspondencia o semejanza. La metáfora en particular hace uso de la semejanza o analogía. Las metáforas han jugado y juegan un rol importantísimo en el desarrollo del pensamiento científico puesto que nos ayudan a desplegar nuestras formas de pensamiento analógico. Se constituyen en imágenes de la realidad que nos prefiguran, evocan y sugieren los mecanismos y procesos respecto de como la realidad opera. Y es posible mediante ellas, a veces acceder a verdades más profundamente que la propia ciencia.

III. LA METAFORA DOMINANTE EN LA HISTORIA DE LA CIENCIA MODERNA

Descartes, Galileo, Bacon, Newton y otros desarrollaron la noción mecanicista del mundo en el siglo diecisiete. Descartes basó su noción de la naturaleza en una división fundamental que separaba dos dominios: la mente y la materia.

El universo material era una máquina y nada más que una máquina. La naturaleza funcionaba de acuerdo con las leyes mecánicas. Todo el mundo material podía explicarse según la disposición y movimiento de sus partes.

Descartes hizo extensiva esta noción mecanicista de la materia a los organismos vivientes. Las plantas y los animales fueron considerados simplemente máquinas; los seres humanos estaban habitados por un alma racional, pero el cuerpo humano era indistinguible de una máquina-animal.

La esencia de la aproximación cartesiana al conocimiento era su método analítico de razonamiento, mediante el desmenuzamiento de los conceptos y problemas en fragmentos que luego eran ordenados según la lógica. Tal aproximación se ha tornado la característica primordial del moderno pensamiento científico y ha probado ser útil en el desarrollo de las teorías científicas y en la concreción de proyectos tecnológicos.

Por otro lado, la sobre-acentuación del método cartesiano ha conducido a la característica fragmentación tanto del pensamiento general como de nuestras disciplinas académicas y a la tan extendida actitud *reduccionista* en el campo de la ciencia: la creencia en que *todos* los aspectos de los fenómenos complejos pueden ser comprendidos mediante su reducción a las partes que los constituyen.

“La historia de la ciencia clásica muestra que ella se constituyó a partir de la metáfora del mecanismo o de la máquina. Descartes escribió lo siguiente: “Yo he descrito la tierra y todo el mundo visible, como si fuera una máquina”. En sus variados escritos Descartes desarrolló una noción ya sugerida por otros filósofos, en efecto él inauguró esta tradición de pensamiento que nosotros llamamos “mecanicismo”, o lo que fue conocido en aquel tiempo como “filosofía mecanicista”. Y esta metáfora está aún presente entre nosotros.

El primer supuesto de, “la “filosofía mecanicista” sugiere que la materia misma es en última instancia inerte, sin ninguna vida o creatividad en sí misma. La gran riqueza de la metáfora mecánica es que implica que el mundo material es, al fin de cuentas, absolutamente predecible. De acuerdo a esta metáfora, el mundo material opera, como cualquier máquina, de acuerdo a reglas invariantes y fijas; leyes que han sido instaladas en la máquina desde la partida. No tiene espontaneidad en sí mismo. Como un reloj funciona con completa regularidad hasta que se detiene, así el mundo material no puede por sí mismo alterar las leyes que se han instalado en él. Las leyes del mundo mecánico están presentes y son constantes; si nosotros podemos descubrirlas seremos capaces de predecir con absoluta certidumbre los sucesos del mundo.

El segundo supuesto implícito en la metáfora mecánica está algo más oculto que el anterior. Una máquina siempre implica la existencia de alguien que la construyó - un hacedor, un inventor. Una máquina no puede, a la manera de un embrión, generarse a sí misma. Los relojes, los automóviles y las máquinas de vapor no toman forma de sí mismas - si ellas lo hicieran, serían en verdad entidades mágicas y muy salvajes, y no podría adscribirse a ellas la uniformidad, estabilidad y predictibilidad que nosotros asociamos con cualquier objeto estrictamente mecánico. Si vemos la naturaleza como una máquina, entonces tácitamente vemos algo que ha sido construido, algo hecho *desde afuera*. Esto es aún más evidente en el lenguaje que hoy usamos en la ciencia, nosotros hablamos de conductas que han sido “programadas” en genes animales, de información que es “soportada por medio de conexiones” en el cerebro. Como mecanicistas olvidamos estas metáforas de nuestra propia experiencia de cosas construidas - cosas construidas por seres humanos - y entonces pretendemos que el inventor, o constructor (o el programador) no participan dentro de la metáfora. Pero, por supuesto, que lo hace. Si el mundo material es como una máquina, entonces, este mundo debe haber sido construido por alguien.”²

La ciencia clásica operaba en cierta medida con modelos reduccionistas, que podían comprenderse cabalmente y eran de alguna manera modelos simplificados de la naturaleza, en cierto sentido caricaturas de ella. La ciencia clásica con su reduccionismo, convirtió en cierto modo a la naturaleza en algo casi totalmente automático. La ciencia llegó incluso a ser considerada como una especie de doctrina bien definida que se ocupaba de leyes deterministas y reversibles en el tiempo, las cuales tenían escasa relación con los seres humanos.

IV. EL DESCONOCIMIENTO DE ALGUNOS PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Esta visión reduccionista del mundo producto del mecanicismo propio de la ciencia clásica nos ha llevado a desconocer la existencia de ciertas verdades o principios fundamentales, los cuales, sin embargo, han sido reconocidos y han estado presentes en la mayoría de las cosmovisiones provistas por las grandes tradiciones espirituales y filosóficas de la humanidad.

Algunos de esos principios son:

1) el principio de impermanencia (no permanencia)

La realidad es algo absolutamente inasible, variable, fundamentalmente relacional. Toda nuestra historia reciente muestra una profunda obsesión por descubrir las fuentes para anclar y asentar nuestras certezas en el plano de las ideas y de los símbolos, y por descubrir la intimidad de lo material. Hemos escudriñado en las profundidades de lo micro y de lo macro buscando encontrar la solidez de lo permanente, de lo inmutable, de lo absolutamente previsible. Y nos hemos

² Abram, D. 1992. *The Mechanical and the Organic: Impact of Metaphor in Science*. “Wild Earth”, Summer 1992, págs. 70.

encontrado con un universo que es fundamentalmente vacío. La "teoría cuántica relativista de los campos" muestra que la realidad "fundamental" sobre la cual descansan la totalidad de los fenómenos materiales, no es de tipo granular ni de tipo corpuscular, sino que al contrario es de tipo "inmaterial". En resumen, la realidad es asimilable a un conjunto de campos, descriptible a través de interacciones constantes. En esta perspectiva, el "fondo" sobre el cual descansa la materia visible no sería más que la interpenetración, la superposición, el enmañamiento de campos físicos de distinta naturaleza. Estos campos físicos sólo tienen sustancia, si se puede decir así, vibratoria, no material. No son tampoco ondas sino más bien las estructuras que permiten a estas ondas manifestarse y desplazarse. El campo no tiene propiedad espacial ni temporal: es como una matriz.

El reduccionismo de la ciencia occidental mecanicista ha intentado vanamente congelar lo no permanente, apresando lo que sólo puede existir en movimiento, libertad y relación. Olvidando lo que Niels Bohr expresó tan claramente: "las partículas materiales aisladas son abstracciones; sus propiedades sólo se pueden definir y observar a través de su interacción con otros sistemas".

El principal desafío para la ciencia hoy en día es reconocer esta nueva realidad donde "todo lo sólido se desvanece en el aire" como lo dice el sugerente título del libro de Marshall Berman.

2) el principio de no separatividad

Morris Berman en su magnífico libro "El Reencantamiento del Mundo" presenta³ una interesantísima y provocativa analogía entre: la esquizofrenia o el yo dividido, un ego que se disocia y no intenta conectarse con la realidad que lo rodea, buscando protegerse a sí mismo, y la "objetividad científica", definida ésta como el necesario distanciamiento que debe establecerse entre el sujeto que conoce (investigador) y el objeto de estudio (la realidad observada).

En el pensamiento budista se dice que la forma más sutil de contaminación mental del proceso cognitivo, es la que, implícitamente, atribuye realidad separada a los objetos y al observador. Todas las características que pueden ser encontradas en objetos, nominadas, clasificadas, etc., todas son el resultado de este tipo de simplificación, la que admite que el objeto puede, por último, revelar características *propias*, y en ningún momento considera que cualquier característica es solamente una especie de interpretación automática del fenómeno ocurrido en un *proceso de relación*.

"Esta forma de contaminación mental está presente siempre en nuestro raciocinio y en nuestras verbalizaciones. El propio lenguaje está estructurado en función de las características de objetos separados, y todo es descrito así.... Usando el lenguaje de la física, podríamos decir que el cuerpo físico de un ser humano está a una temperatura aproximada de 37 grados Celsius; en temperatura absolu-

³ Berman, M. 1989. *El Reencantamiento del Mundo*. Editorial Cuatro Vientos, Santiago, 1ª edición, págs. 17 - 20.

ta en la escala Kelvin, estos 37 grados Celsius corresponderían a aproximadamente 310 grados. En el caso que el ambiente no emitiese radiación térmica sobre los seres humanos, estos rápidamente se congelarían y perderían la vida. O sea, constantemente nos mantenemos vivos justamente por recibir radiación térmica del ambiente, pero cuando contemplamos el ambiente en nuestro alrededor o miramos nuestro cuerpo, no percibimos el grado de correlación íntima que existe entre éste y el ambiente.... No percibimos como la existencia de este cuerpo humano es constantemente construida también por la energía térmica recibida del exterior en forma de radiación. Nuestra tendencia es ver nuestros cuerpos como objetos independientes y autosuficientes, interactuando con el ambiente cuando mucho a través de los alimentos y del aire. De la misma forma nos es difícil percibir como los objetos que vemos alrededor son construidos en su apariencia por los estímulos sensoriales que nuestro cuerpo recibe a partir de la incidencia, sobre estos objetos, de luz visible, por ejemplo. Nuestra mente los ve como objetos con características definidas, independientes de cualquier relación externa... La razón de esta ceguera es que esta forma de relación se da por medio de un mecanismo físico que queda oculto a la visión y al lenguaje convencionales.

En el área de la física, Niels Bohr, especialmente, fue quien consiguió introducir correcciones a esta forma de pensar y de expresarse, y consiguió no solamente distanciarse de esta forma de "ideología automática" sino que llegó a formular un sistema filosófico que escapaba de estos problemas sin quedarse limitado al inmovilismo. Su éxito fue tan grande que la Teoría Cuántica es hoy un tema central de estudio tanto para físicos como para filósofos, siendo la base para una importante evolución científica y tecnológica ocurrida a mediados de este siglo.

Su visión filosófica, la "complementariedad", puede ser vista como una forma avanzada de estructurar el conocimiento convencional, sin dejarse limitar por los presupuestos y paradojas que se desprenden de los equívocos de las interpretaciones condicionadas.

En la forma de estructurar el conocimiento, como fue desarrollado por Bohr, la palabra "objeto" incluye además no sólo lo que convencionalmente es entendido como "objeto" experimental, sino que también el equipamiento experimental del laboratorio usado en las medidas y las teorías que generan las preguntas."⁴

Humberto Maturana nos señala que:... "Si queremos entender el fenómeno del conocimiento, si queremos entender el sistema nervioso, si queremos entender el lenguaje, si queremos entender lo que pasa en la convivencia, tenemos que hacernos cargo de este curioso fenómeno: *los seres humanos, los seres vivos en general, no podemos distinguir en la experiencia entre lo que llamamos ilusión y percepción* como afirmaciones cognitivas sobre la realidad."⁵

⁴ Aveline, A. 1991. *La Visión Budista de la Cuestión Cognitiva*. "Boditsava, Revista de Pensamiento Budista", N° 2 Outono 1991, Porto Alegre, RS, Brasil. Págs. 53 - 57.

⁵ Maturana, H. 1990. *Emociones y lenguaje en educación y política*. Colección Hachette/Comunicación, Santiago, 1ª edición, pág. 42.

Comprendiéndose ésto, se puede comprender el sentido de la afirmación de que, desapareciendo la humanidad, el universo entero desaparece, o la afirmación aún más extraordinaria de que el universo surge y desaparece a cada instante, a cada pensamiento, o todavía más la afirmación de que hasta el mismo pasado y el futuro pasan por cambios incesantes (una vez que es en el presente que toman forma, a través de la mente de los que piensan).

3) el principio de no distinción

La ciencia mecanicista ha renunciado a la "totalidad" unicista, desmenuzando analíticamente todo, sin poder captar la conexión subyacente - "la pauta que conecta", diría Gregory Bateson - entre todas y cada una de las cosas del universo. Ello condujo a concepciones eficientistas y monocausales de la realidad, en un universo interdependiente, conformado por una red de relaciones. Si bien la especialización fue necesaria en una época en la historia de la ciencia para evitar que las autoridades se inmiscuyeran en el pensamiento autónomo, ella condujo a una disciplinarianidad y atomización que le impide hoy enfrentar aisladamente los verdaderos problemas por resolver, casi todos ellos de carácter multidisciplinario o transdisciplinario.

Es necesaria, por tanto, la introducción de un criterio de integralidad que implica estar atento a la utilización de la aproximación holística (del griego *Holos*: entero), tomando en cuenta que conforme las nuevas visiones del universo cada evento constituye a la vez una parte y un reflejo del todo, conforme la metáfora del holograma. Es una visión en la cual el todo y las partes están sinérgicamente en inter-relaciones dinámicas, constantes y paradójales.

Ello implica cultivar como virtudes morales el discernimiento, la tolerancia, el respeto, la alegría, la simplicidad y la claridad en los encuentros entre representantes de las Ciencias, Filosofías, Artes y Tradiciones Culturales y Espirituales, necesarias para el abordaje transdisciplinario en equipo.

Será necesario enfocar con suficiente apertura y examen crítico la complementariedad y la contradicción en la consideración de lo relativo y de lo absoluto, de la vía cuantitativa y de la cualitativa, todo ello al servicio de la vida, del ser humano y de la evolución.

4) el principio de no causalidad

La ciencia occidental ha privilegiado la visión causal y ha desconocido el pensamiento sincrónico. Este sostiene que más allá de una conexión causa - efecto, existe una correspondencia entre los estados simultáneos de distintos tipos de fenómenos. Existen algunas importantes diferencias entre ambas; la primera tiene que ver con el conocimiento objetivo, utilizando la observación y el raciocinio para explicar como un evento surge "lógicamente" de otro. La sincronicidad, según Carl Jung, es un principio de conexión acausal, y define la ocurrencia simultánea de dos o más eventos que presentan una relación entre sus significados pero no en su causalidad. Jung sostuvo que todo factor acausal

implicado en un acontecimiento, debe ser considerado con el mismo nivel de trascendencia que la causalidad, en cuanto principio explicativo.

Hipótesis como la *resonancia mórfica* de Rupert Sheldrake en el plano de la biología, o el *enfoque bootstrap* de Geoffrey Chew, el *experimento EPR* y el *teorema de Bell* recuerdan el concepto de sincronicidad acuñado por Jung y Pauli.

V. EL CONCEPTO Y EL ROL DE LOS PARADIGMAS EN LA CIENCIA

En la epistemología se llama paradigma a esa visión de la realidad que está internalizada en nosotros y que se expresa en nuestros conceptos; son nuestros supuestos más generales y la mismo tiempo más recónditos, a menudo inconscientes. Ellos determinan nuestros métodos, recortan nuestros problemas, guían nuestras hipótesis. Nos hablan de como es la realidad que nos rodea, quienes somos los seres humanos, cuales son nuestros móviles, nuestras posibilidades y nuestros límites. Nos hablan poderosamente pero sin dejarse ver; no son explícitos. Son la tierra que nutre nuestras teorías. No podemos dejar de tener una; pero podemos volver la vista hacia ellos, examinarlos, hacerlos explícitos y ver si aún responden a nuestras necesidades, a nuestras expectativas, a nuestras emociones.

El concepto de paradigma y su relación esencial con el pensamiento científico fue introducido en 1962 por Thomas Kuhn⁶. Para este historiador de la ciencia, un paradigma es un logro intelectual capital que subyace a la ciencia y guía el transcurso de las investigaciones. Se supone que todo paradigma científico debe ser susceptible de modificaciones, refutaciones o convalidaciones, sin embargo, cuando una teoría funciona de manera eficiente por un período de tiempo, se convierte en "norma", que más allá de proporcionar un contexto operativo a un campo de fenómenos, lo restringe y pre-programa. Convertida en un marco referencial implícito para la mayoría, se transforma en el modo "natural" de ver y obrar, en la forma "razonable" de pensar un fenómeno. De este modo, nadie piensa en cuestionar o rebelarse contra algo que parece ser "el orden natural del universo".

Vivimos hoy en una época de conflicto de paradigmas, en donde se proponen paradigmas renovadores frente a otros más antiguos, y se abren nuevas direcciones en las exploraciones. El paradigma necesario para la época que nos toca vivir deberá ser capaz de combinar diferentes enfoques en un equilibrio dinámico, que implique un modelo dúctil de reflexión y pensamiento holístico. En primera instancia, un nuevo paradigma conlleva una nueva visión de la realidad, pues incluye nuevas especies de información, que aportan formas de visión complementarias para toda la realidad. Un paradigma es un conjunto de teorías, valores, técnicas, modelos y construcciones compartidas por los miembros de

⁶ Kuhn, T. 1971. *La estructura de las revoluciones científicas*. Breviarios del Fondo de Cultura Económica, México D.F., 1ª edición.

una comunidad, y cuyos supuestos no funcionan como hipótesis, sino como creencias estratificadas. La creencia es la insistencia en que la verdad es lo que uno desearía que fuera. De esto se deduce que un creyente sólo abrirá su mente a la verdad bajo la condición de que ésta encaje con sus ideas y deseos concebidos anteriormente. En realidad el paradigma de la nueva conciencia sustituye su estructura de creencias por un sistema de fe, pues la fe es una apertura sin reservas de la mente a la verdad, sea ésta la que fuera; careciendo de concepciones previas, la fe implica una "zambullida en lo desconocido". Las creencias se aferran, pero la fe es un dejarse llevar. En este sentido de la palabra, la fe es la virtud esencial de este naciente paradigma, que conjuga en su interior la sabiduría antigua y la ciencia moderna.

El paradigma holístico proviene del griego *holos*, totalidad, y se refiere a una forma de comprensión de la realidad en función de totalidades en procesos integrados, cuyas propiedades no pueden ser reducidas a unidades de referencia menores. La conciencia holística concibe al ser humano como un organismo, una unidad de desarrollo, algo diferente y mucho mayor que la suma de sus partes. Se trata también de una visión ecológica, e implica una transformación de nuestra visión del mundo, un cambio en nuestros pensamientos, percepciones y valores, que constituye lo que denominaremos una sustitución o mudanza de paradigmas.

Una ética holística debería estar inspirada en valores tales como los de preservación de la vida, la alegría, la cooperación, el amor y el servicio, la creatividad, la sabiduría y la trascendencia; y traducirse en acciones efectivas agrupadas en categorías como la integridad, la inclusividad y la plenitud.

VI. LOS AVANCES HACIA UN NUEVO PARADIGMA: LAS NUEVAS METAFORAS

Primera metáfora. La escalera de la conciencia: la teoría del campo unificado de la conciencia.

Ken Wilber, teórico líder en el campo de la psicología transpersonal ha desarrollado una teoría del campo unificado de la conciencia extrayendo elementos de las mayores tradiciones filosóficas y espirituales mundiales y las ha conjugado con las nuevas perspectivas en el campo científico. Esta teoría puede nos servir como una metáfora para orientar nuestra búsqueda de una nueva imagen del hombre, en la perspectiva de un cambio paradigmático, ya que el propio Wilber plantea la metáfora de la escalera para referirse al desarrollo tanto histórico como psicológico de los niveles de la conciencia.

Ken Wilber ha desarrollado una cartografía conceptual del espectro de la conciencia. Establece cuatro niveles de profundidad respecto a lo que entendemos por nuestra identidad y en cada uno de ellos el tipo de dualidad que se hace manifiesta en ese nivel y que se encuentra disuelta (interpenetrada o integrada) en el nivel de mayor profundidad.

1. *Identidad con la persona, aquellas partes aceptadas de la psique.* Nivel de la persona. Existe una dualidad entre la persona (la máscara) y la sombra; hay una parte que no aceptamos de nosotros mismos. Estas partes son alienadas, reprimidas, escindidas o proyectadas. Integrada la máscara y la sombra asumimos nuestro ego y nos situamos en el nivel 2.

2. *Identidad con la mente o ego.* Nivel del ego. Aquí se plantea una dualidad entre el ego y el cuerpo; es nuestra materialidad o corporalidad que no integramos en nosotros mismos, y que sentimos como algo tan extraño como el propio mundo exterior. Integrado nuestro cuerpo en nuestro ego asumimos la totalidad de nuestro organismo, pasamos al nivel del centauro, al nivel 3.

3. *Identidad con la totalidad del organismo.* Nivel del organismo total. Se presenta como la dualidad entre el organismo total o "centauro" y el medio, la parte que no reconocemos de la existencia porque está fuera de nuestra piel, ausente de nuestro pellejo. Reconocida la existencia del medio y asumida llegamos al nivel 4.

4. *Uno con el universo, el verdadero yo sentido como la totalidad de la creación.* Conciencia de unidad con el universo tanto manifiesto como inmanifiesto. La persona siente que su verdadero yo no es solamente su organismo, sino la totalidad de la creación.

Es a un determinado nivel del espectro de la conciencia al cual se dirigen principalmente las escuelas principales de "terapia" (psicología, psicoterapia, religión). "En términos generales, veremos que una terapia, del nivel que sea, reconoce y acepta la existencia potencial de todos los niveles que están por encima del suyo propio, pero niega la existencia de todos los que están por debajo.... El desarrollo se entiende aquí como un ensanchamiento y expansión de los propios horizontes, una ampliación de los propios límites, exteriormente en perspectiva e interiormente en profundidad..... Cuando una persona desciende (profundiza) un nivel del espectro ha trazado un mapa nuevo de su alma y ensanchado su territorio. El crecimiento (sic; debería decir desarrollo) es redistribución, nuevo trazado de zonas y diseño del mapa; es primero un reconocimiento, y después un enriquecimiento, de niveles cada vez más profundos y más vastos de 'lo que uno es'."

Según Wilber... "Paradigma no tiene un significado preciso. No es exactamente un tipo de superteoría o de visión global como muchos creen. Para muchos Freud por ejemplo, introdujo un nuevo paradigma en la psicología, queriendo referirse a una nueva teoría general, un plan o un enfoque. Para Thomas Kuhn que introdujo el término... Freud no trajo un paradigma nuevo ya que trabajó del modo usual: elaboró algunas teorías pero éstas no son paradigmas. El paradigma es algo más sutil, más aún, es inconsciente. Uno no sabe que existe hasta que es desafiado por su sucesor. De modo que un paradigma es un

⁷ Wilber, K. 1989. *La Conciencia sin Fronteras*. Editorial Kairós, Barcelona, 3ª edición, pág. 29.

conjunto de principios cognitivos y presunciones que definen el tipo de datos que somos capaces de observar en primer lugar.”⁸

“Cada estadio de desarrollo, cada evolución en cadena introduce nuevas dimensiones de existencia, modos de conocimiento, deseos, temores, percepciones de espacio y de tiempo, motivaciones, sensibilidad moral, etc. De modo que una de las cosas que traté de hacer en varios libros es trazar exactamente el tipo de visión global, los paradigmas más característicos de cada estadio de desarrollo. Usualmente describo una versión simple de la gran cadena, materia, mente y espíritu, o una versión ligeramente más amplia: materia, cuerpo, mente, alma y espíritu. Cada uno de estos niveles se divide en varios subniveles.... Cada uno de los niveles tiene una perspectiva diferente de la realidad. Con frecuencia uso la metáfora de una escalera para la gran cadena, y cada peldaño aporta una distinta visión del área circundante. Si se trepa por una escalera alta, se obtiene un mayor ángulo del mundo en cada escalón. Esto es exactamente lo que ocurre en el desarrollo tanto histórico como psicológico. La visión global mayor en orden ascendente es arcaica, mágica, mítica, racional, existencial, psíquica, sutil y causal, correlativas con niveles de desarrollo. Si uno sólo cuenta con materia, sensación, percepción, emoción e imagen (los niveles más bajos) entonces su visión global es arcaica. Si se agregan símbolos y conceptos se torna mágica. Con reglas y pensamiento operativo concreto, llegamos a lo mítico, que se transformará en racional mediante el agregado del pensamiento operativo formal. Sumando la visión-lógica aparece lo existencial, etc...lo psíquico vendrá con la visión, luego lo sutil con el arquetipo y por último lo causal con lo no manifiesto. De tal modo cada estadio mayor de desarrollo tiene su propia y distintiva visión global o paradigma.”⁹

*Segunda metáfora. El sistema inmunológico como el “segundo” cerebro del cuerpo.*¹⁰

Francisco Varela, biólogo chileno, actualmente Director de Investigación de la CNRS en Francia, uno de los principales autores en el ámbito de las Ciencias Cognitivas, ha desarrollado una metáfora científica que ha llegado a complementar la que mantuvo su primacía hasta ahora y que era absolutamente coherente con las concepciones propias de sistemas organizados sobre bases jerárquicas y dominatorias. El cerebro único contralor y comando de toda la actividad cognitiva. La nueva metáfora de un “segundo” cerebro del cuerpo cuestiona radicalmente las concepciones dominantes hasta el presente - de jerarquías na-

⁸ Wilber, K. 1992. *Guerra de paradigmas* (Diálogo editado a partir de varias entrevistas realizadas entre los años 1989 y 1991), “Uno Mismo”, N° 35, Noviembre de 1992, Santiago. Págs. 38 - 39.

⁹ Esta parte ha sido elaborada a partir de los apuntes de un curso dado el año pasado por Fritjof Capra en el Schumacher College, Devon, Inglaterra.

¹⁰ Lovelock, J. 1985. *Gaia, una nueva visión de la vida sobre la tierra*. Ediciones Orbis S.A., Madrid, 1ª edición.

turales necesarias -e introduce una visión de un cerebro y de procesos cognitivos donde el saber o conocimiento, la información, la identidad, la creatividad, no se encuentran sólo centralizados sino que también diseminados entre todas las células del cuerpo. No convergen y procesan en un sólo punto sino que se distribuyen a lo largo de todo el territorio corporal. Ello da pie a una concepción mucho más democrática e igualitaria de los procesos de la vida y de la realidad, sea ella individual o colectiva.

Nuestro organismo tiene dos maneras de conocer. Una está asociada con el cerebro, la otra con el sistema inmunológico (el “segundo cerebro”). A diferencia del cerebro, el cual está concentrado en la cabeza, el sistema inmunológico está disperso en órganos y en el fluido linfático a través del cuerpo. Nosotros lo encontramos en una cadena de nudos linfáticos y en el fluido linfático que permea el cuerpo entero y efectivamente penetra cada tejido aislado. A diferencia del cerebro, el sistema inmunológico consta de diferentes tipos de componentes fundamentales. Mientras que las neuronas son los componentes uniformes de todo el sistema nervioso, los componentes del sistema inmunológico son un clase entera de células llamadas linfocitos (popularmente conocidas como las células blancas de la sangre). A diferencia de las neuronas, las cuales están en fijas en una posición y conectadas con otras neuronas por conexiones anatómicas, los linfocitos se mueven en rededor muy rápidamente y conectan por ligaduras químicas. Ellos tienen moléculas grandes (anticuerpos) proyectándose desde sus superficies con una enorme habilidad para ligar, para enlazarse químicamente a cualquier perfil molecular en su ambiente.

El sistema inmunológico es tan complejo como el sistema nervioso, pero en vez de encontrarse concentrado está distribuido, en vez de estar fijos sus componentes se mueven por todas partes, y en vez de atarse por conexiones anatómicas ellos se enlazan químicamente. Cuando la gente escucha algo acerca del sistema inmunológico, la primera cosa que se viene a la cabeza es la de un sistema defensivo, que los anticuerpos actúan como un ejército. En realidad esta metáfora militar - completada con generales, soldados, suministros, etc. - ha sido ampliamente usada en la inmunología clásica. Y Varela cree que ésta ha sido la principal piedra de tope para nuestra comprensión del sistema inmunológico y de las enfermedades auto-inmunológicas, tales como el SIDA.

Descubrimientos recientes están desafiando seriamente la clásica concepción “exodirigida” del sistema inmunológico como simplemente un sistema defensivo. De acuerdo a esta visión, los linfocitos identifican un enemigo, los anticuerpos lo atacan, y entonces lo destruyen. Pero cuando uno observa cuidadosamente a cuales perfiles moleculares se enlazan realmente estos anticuerpos, uno encuentra que ellos se ligan principalmente a otros anticuerpos. De modo que, muy de repente, el sistema comienza a parecerse mucho más a una red, como gente conversando con cada otro en vez de soldados vigilantes. De forma tal que se ha producido un cambio perceptivo desde un “sistema inmunológico” a una “red inmunológica”. Esto es actualmente un hecho establecido.

Esto, por supuesto, presenta un gran problema para la concepción clásica. Si el sistema inmunológico es una red cuyos componentes se enlazan principalmente a cada otro, y si los anticuerpos están decididos a matar a cualquiera que ellos se ligen, estaríamos todos tragándonos a nosotros mismos. Obviamente, no lo hacemos.

Además, desde el punto de vista clásico, un sistema inmunológico solamente se desarrollará cuando existen perturbaciones externas a las cuales puede responder. Si no existe ataque, ningún anticuerpo será desarrollado. Experimentos recientes han demostrado, sin embargo, que aún los animales que están completamente protegidos de patógenos desarrollan sistemas inmunológicos totalmente expandidos. Desde el nuevo punto de vista esto es natural, porque la principal operación de los sistemas inmunológicos no es responder a los desafíos externos sino relacionarse a sí mismo.

La concepción de Varela es que el sistema inmunológico es un sistema vivo, auto-organizativo y autónomo, el cual es responsable por la identidad del cuerpo. Así como la percepción, memoria, etc, nos permiten tener una identidad cognitiva, del mismo modo el sistema inmunológico nos permite tener la identidad de quienes somos nosotros como un cuerpo. Todas las células de nuestro cuerpo comprenden que ellas pertenecen a una comunidad; y ellas actúan así en razón de su sistema inmunológico, el cual, si uno lo desea, es como el lenguaje que permite que los miembros de una comunidad constituyan su identidad.

Pero, esto no significa que el sistema inmunológico no defienda el cuerpo cuando existe algún tipo de amenaza, digamos una infección. Lo hará así, pero ésto es lo periférico, casi una acción trivial del sistema inmunológico. Es conocido como respuesta inmunológica y podemos pensar de ésto así como reflejos precisos. La inmunología clásica se corresponde a limitar el estudio del cerebro al estudio de los reflejos. Por supuesto, aquello es parte de la actividad del sistema nervioso, pero el sistema nervioso también hace cuestiones mucho más interesantes; nos permite tener una identidad cognitiva. De manera similar, el sistema inmunológico está comprometido en las respuestas inmuno-defensivas, pero principalmente hace algo bastante más interesante; nos permite tener una identidad corporal.

Al igual que con el sistema nervioso, Varela distingue entre un sistema inmunológico central y uno periférico. La diferencia no es topológica sino funcional. El sistema inmunológico periférico es el sistema capaz de levantar una respuesta inmunológica a los desafíos externos. El sistema inmunológico central está altamente conectado y es altamente interactivo, y provee un sentido de identidad del cuerpo.

De acuerdo a Varela, una concepción psicósomática sofisticada con todas las consecuencias para la salud y la curación no se desarrollará a menos que entendamos el sistema inmunológico como un recurso cognitivo, a menos que entendamos el sistema nervioso y el sistema inmunológico como nuestros dos "cerebros" en continua conversación, dos sistemas cognitivos interactuando.

Tercera metáfora. La Hipótesis Gaia: un gigantesco organismo llamado Biósfera.

James Lovelock desarrolló su teoría Gaia¹¹ en la cual plantea una nueva visión de la vida sobre la Tierra, a partir del encargo que le hizo la NASA de detectar pruebas de vida en Marte y Venus. El señaló que para saber si hay allí alguna forma de vida no necesitamos enviar costosísimas astronaves; basta con observar desde aquí sus atmósferas, pues los seres vivos modifican su medio de una manera más que apreciable. Concluyó que allí no hay vida, y al mismo tiempo vió que nuestra atmósfera es totalmente anormal: en relación con su masa y su distancia al sol, la atmósfera terrestre debería tener una temperatura de entre 50 y 290 grados C, cuando su media no llega a 30 grados C; su contenido en nitrógeno debería ser del 98%, cuando es del 0,03%; no debería tener prácticamente oxígeno cuando tiene un 21%... Si hubiera un poco más de oxígeno, cualquier bosque en dos días sería pasto de las llamas; si hubiera un poco menos no podría existir la vida... Parece como si todas las extrañas características de nuestra atmósferas existieran precisamente para permitir el desarrollo óptimo de la vida. Y no es que esas condiciones las fijara Dios la semana en que creó el mundo: la cantidad de calor solar que recibe la Tierra ha tenido enormes variaciones a través de los milenios, pero aquí la temperatura ha permitido siempre la vida (al igual que el cuerpo humano mantiene una temperatura más o menos constante frente a las variaciones externas). Por otra parte, los gases de nuestra atmósfera son imposibles de mantener en un laboratorio: reaccionan rápidamente entre ellos, creando otros compuestos; para mantener el equilibrio es necesario, por ejemplo, que cada año entren en la atmósfera dos millones de toneladas de metano. ¿De dónde salen? Lo producen ciertas bacterias, y, por lo visto, si hiciera falta el triple de metano, habría el triple de esas bacterias... Nuestro planeta aparece así como un prodigio de autorregulación, de homeostasis. Los diferentes organismos que lo componen colaborarían en el mantenimiento del equilibrio global, al igual que nuestros diversos órganos y células contribuyen a mantener nuestras constantes vitales. En efecto, sólo pensando que la Tierra es un gran organismo tienen sentido los datos mencionados.

"Gaia es en realidad una nueva teoría de la evolución, que amplía la gran intuición de Darwin haciendo converger en un único propósito la evolución de las especies y la evolución de su entorno material. Ahora es fácil ver por qué la ciencia moderna rechaza a Gaia: es algo que nunca podría haber surgido en los edificios separados y aislados de una universidad, donde los biólogos, geólogos y climatólogos son tribus rivales... Además de superar la fragmentación de las ciencias contemporáneas, Gaia propone que lo que guía la evolución es la cooperación, y no esa versión del capitalismo salvaje que sería la selección natural."¹²

¹¹ Pigem, J. 1991. *Gaia, el planeta (in)conciente*. "Nueva Conciencia: plenitud personal y equilibrio planetario para el siglo XXI", Integral, Barcelona, 1991, pág. 94.

¹² Abram, Paradigmas y metáforas: pasos hacia una epistemología integradora y participativa.

"La Hipótesis Gaia puede bien señalar la emergencia de una ciencia madura - una ciencia que no busca *controlar* el mundo sino *participar* con el mundo, no operar sobre la naturaleza sino *cooperar con* la naturaleza. Si la composición química del aire que nosotros estamos respirando está, en este momento, siendo activamente monitoreada y modulada por todos los organismos de la Tierra, actuando en conjunto, como un único, coherente, metabolismo viviente, entonces el mundo material que nos rodea no es, en ningún sentido, inerte o inanimado. Ni son estos árboles o aún estos peñascos enteramente pasivos e inertes. Por tanto la naturaleza material no puede ser más vista como una colección de partes separables - ya que no es una máquina creada sino más bien una vasta fisiología, auto-generativa y viviente, abierta y capaz de responder a circunstancias cambiantes..... Por supuesto, podemos aún intentar hablar de Gaia en términos puramente mecánicos, o tratar de concebir a Gaia como un conjunto de procesos estrictamente objetivos, forzándonos así a mantener nuestra ciencia dentro del antiguo paradigma mecánico. Podemos ser refractarios terminar con el sueño de una objetividad alcanzada, y de la realidad establecida a la cual correspondería. Sin embargo Gaia, nunca calzará plenamente dentro del discurso del mecanicismo. Un mecanismo está enteramente determinado; actúa, como ha sido visto, de acuerdo a un conjunto de reglas predecibles que no se generan a sí mismas..... Estamos ahora en condiciones de contrastar suscitadamente la epistemología del mecanicismo con las implicaciones epistemológicas de Gaia. El modelo mecánico del mundo implica una epistemología mentalística, fundada en el supuesto que el conocimiento más preciso de las cosas es una aprehensión intelectual separada y purgada de todo involucramiento corporal, situacional y subjetivo. Es un conocimiento incorpóreo y abstracto. En contraste, la concepción Gaiana del mundo - la cual habla de la Tierra circundante como una fisiología viviente - implica una epistemología englobante y participatoria. Como la Tierra no es más vista como una máquina, el cuerpo humano ya no es más un objeto mecánico vivienda de una mente inmaterial, sino que más bien una sensitiva fisiología, expresiva y pensante - un microcosmos de la auto-poética Tierra. Es de aquí en adelante no como una mente separada, sino como un cuerpo entero que yo puedo comenzar a conocer el mundo, participando en sus procesos, sintiendo como mi vida resuena con su vida. El conocimiento, en este sentido, es siempre conocimiento corporal - una sabiduría nacida de la armonía del cuerpo con aquello que estudia y con la Tierra."

El concepto cuántico de totalidad

Alicia G. de Mesa*

La totalidad, como "algo distinto de la reunión de partes"¹, ha sido considerada por filósofos, biólogos y teóricos del arte como una categoría central en la descripción del mundo. Pero la física de los siglos XVII, XVIII y XIX parecía haber roto el misterio de la unidad, disolviendo el todo de la naturaleza en partes constituyentes que se mueven de acuerdo con leyes rigurosas, en el espacio vacío, bajo el efecto de fuerzas externas.

En este mundo autómatas de la física clásica, como en un gigantesco mecanismo de relojería, no hay lugar para la espontaneidad, ni para el azar, ni para la libertad. Lo que nosotros denominamos "azar" es algo cuya causa y razón suficiente ignoramos. Nuestra libertad es un espejismo; somos, como en la imagen poética del filósofo Spinoza, semejantes a la piedra que cae y en mitad del camino cobra conciencia y tiene la ilusión de estar eligiendo libremente su destino.

Pero esta fe absoluta en los principios y modelos explicativos de la física clásica, apuntalada en los éxitos teóricos, experimentales y técnicos de la mecánica newtoniana, se derrumbó con el advenimiento de la física cuántica al comenzar el siglo XX. No se trataba, sin embargo, de una derrota de la razón científica; lo que emergió de la crisis de la física clásica fue una forma más elevada de racionalidad, que no excluye el azar y la indeterminación, pero da lugar a nuevas formas de ley y causalidad. Dentro de esta nueva visión, el mundo, lejos de desintegrarse en un conjunto caótico de elementos, recupera la posibilidad de su coherencia.

* Departamento de Física - Universidad Nacional

¹ Aristóteles, *Metafísica*, H. 6; "Para todo lo que tiene pluralidad de partes y cuya totalidad no es una pura yuxtaposición, sino algo distinto de la reunión de las partes, hay una causa de unidad".

Aunque la nueva racionalidad científica fundada en la física cuántica no es expresable en imágenes o modelos mecánicos fácilmente intuibles y requiere para su formulación un alto nivel de abstracción matemática, trataré de esbozar e ilustrar en las notas que siguen el concepto de totalidad donde, quizás, reside la clave para restablecer los vínculos rotos de la física con las demás ramas del saber.

SEPARABILIDAD CLASICA VS. INSEPARABILIDAD CUANTICA

Existe una presuposición fundamental subyacente en la física clásica y en nuestra manera habitual de percibir el mundo, tan "obvia" en apariencia, que nadie se tomó el trabajo de formularla explícitamente hasta cuando, en los años veinte de nuestro siglo, la mecánica cuántica la puso seriamente en cuestión.

Se trata del llamado 'principio de localidad o separabilidad', formulado y defendido por Einstein hasta el final de sus días como si fuera una condición a priori de posibilidad de la ciencia. Pero hoy todo parece indicar que se trataba de una batalla de retaguardia del sistema clásico de pensamiento contra las exigencias de la nueva razón 'cuántica'.

Según Einstein, los conceptos de la física se refieren a 'cosas' (cuerpos, campos) que tienen una existencia real, independiente del sujeto y están dispuestas en un continuo espacio-temporal. El postulado de separabilidad exige suponer que en un determinado tiempo estas cosas, al ocupar diferentes partes del espacio, tienen una *existencia mutuamente independiente*. "Esta independencia relativa significa que una influencia exterior de un cuerpo A no tiene ningún efecto inmediato sobre un cuerpo B. La completa negación de este principio haría imposible la idea de la existencia de sistemas (cuasi)cerrados y, con ello, el establecimiento de leyes empíricamente comprobables en el sentido corriente para nosotros"².

A pesar de su "evidencia", este postulado es abiertamente incompatible con un principio de inseparabilidad, incorporado en la teoría cuántica y corroborado por evidencia experimental insoslayable.

De acuerdo con este principio existen sistemas de varias partículas (en estados cuánticos 'puros'), que no son separables, en el sentido de que no es posible atribuir a cada partícula o subsistema propiedades definidas antes de realizar una medición. En términos einstenianos podríamos decir que estos subsistemas no tienen una "existencia mutuamente independiente". Lo que caracteriza estos estados es un lazo de coherencia entre las distintas partes que componen el sistema, lazo inconcebible dentro de los marcos conceptuales de la física clásica.

² Einstein-Born-Briefwechsel (1916-1955), Rowohlt, Hamburg (1972). Existe versión española de esta correspondencia.

El ejemplo más simple que permite ilustrar la existencia de correlaciones no clásicas entre las partes es el de un par de partículas en un estado de polarización definido así:

$$\Psi(1,2) = \Psi_+(1)\Psi_-(2) - \Psi_-(1)\Psi_+(2)$$

Esto significa que, al hacer una medición, cualquier partícula (1 ó 2) puede tener polarización positiva o negativa. Pero si una de ellas resulta con un signo, la otra debe tener, necesariamente, polarización de signo opuesto. Uno estaría tentado a suponer que, antes de la medición, las partículas tienen polarizaciones definidas, aunque desconocidas por nosotros. Pero tal suposición, a pesar de su carácter "obvio", conduce a predicciones observables en conflicto con los resultados experimentales. En este estado del sistema, la mecánica cuántica prohíbe atribuir propiedades independientes a las partes, aún si estas pueden detectarse en regiones separadas del espacio³.

Este sistema muestra correlaciones no explicables por ningún modelo clásico que atribuya propiedades definidas (aunque desconocidas para nosotros) a las partículas individuales antes de su detección. Estas correlaciones llevan los nombres de Einstein-Podolsky-Rosen, porque fueron ellos quienes, en 1935, plantearon la célebre paradoja E.P.R. con el objetivo declarado de mostrar el carácter incompleto e insatisfactorio de la mecánica cuántica.

En 1962 J.S. Bell formuló un teorema que le permitió afirmar que cualquier teoría o modelo que se ajuste a los criterios de realidad y separabilidad de Einstein conduce necesariamente a predicciones experimentales en conflicto con la mecánica cuántica. En 1982 A. Aspect y colaboradores concluyeron la medición de correlaciones de un par de fotones emitidos en cascada por un átomo de calcio, en un estado cuántico similar al que hemos descrito. Sus resultados permitieron corroborar las predicciones de la mecánica cuántica contra las de cualquier teoría que pretenda restaurar la separabilidad y la causalidad estrictas, afirmando la preexistencia de una polarización (+) o (-) de cada fotón antes de su detección. En conclusión, la mecánica cuántica tendría que ser empíricamente falsa si los postulados de Einstein fuesen efectivamente condiciones a priori de la ciencia y no simples presuposiciones del análisis clásico.

TOTALIDADES CUANTICAS MACROSCOPICAS

Esta forma de superposición coherente o totalidad cuántica, expresable en la forma matemática de un estado cuántico 'puro', unida a la presencia de niveles discretos de energía que garantizan cierta estabilidad de los átomos y moléculas, indujeron tempranamente a los físicos a considerar la posibilidad de que en la física cuántica estuviese la clave de la coherencia o integralidad y permanencia típicas de los seres vivos. Pero estas totalidades cuánticas microscópicas

³ La medición de la polarización de las partículas supera esta ambigüedad, pero al precio de romper el lazo de coherencia entre las partículas.

solo pueden sobrevivir en el aislamiento. Basta una detección, una medición hecha sobre una de las partes, para que la coherencia del todo se rompa de manera irreversible.

Sin embargo, uno de los hallazgos del presente siglo más ricos en consecuencias teóricas y experimentales está relacionado con la existencia de fenómenos cuánticos macroscópicos. Sistemas como los superfluidos o los superconductores muestran por debajo de una cierta temperatura crítica una coherencia asombrosa en el comportamiento de su inmenso número de constituyentes elementales: Los superfluidos pueden atravesar sin fricción los capilares más estrechos y pueden trepar por las paredes del recipiente que los contiene. La corriente eléctrica puede fluir por años en un superconductor sin pérdidas de energía por resistencia. Es como si de repente multitud de partículas moviéndose al azar en todas direcciones empezaran a marchar coordinada y espontáneamente como un ejército sin oficial al mando.

Hace unos 35 años los teóricos de la superconductividad descubrieron un mecanismo que permite explicar el surgimiento de una coherencia de largo alcance, caracterizada por la emergencia de nuevas propiedades y de fuertes correlaciones entre las partes del sistema, no explicables en términos de interacciones físicas mediadas por "señales".

La multiplicación de sistemas en que se manifiesta esta forma de coherencia o totalidad ha hecho exclamar al químico cuántico Hans Primas:

"La legendaria idea de que los todos son explicables en términos de las partes ha muerto"⁴.

Este mecanismo de explicación de las propiedades emergentes (esto es, no reducibles a propiedades preexistentes de las partes) se denomina Ruptura Espontánea de Simetría (RES) y puede describirse esquemáticamente así:

Un sistema físico posee ciertas simetrías en el sentido de que sus ecuaciones de movimiento (o su funcional acción o su energía libre, si se trata de un sistema termodinámico) permanecen invariantes ante ciertos grupos de transformaciones (por ejemplo rotaciones de ejes coordenados o cambio de fase de los campos). Generalmente a altas temperaturas los estados del sistema tienden a mostrar estas mismas simetrías. Pero bajo ciertas condiciones (por ejemplo temperatura suficientemente baja) el estado fundamental o de equilibrio del sistema se hace asimétrico. Un material cuyos átomos tenían sus momentos magnéticos orientados al azar se ve obligado a adoptar un estado ordenado, caracterizado por un "parámetro de orden" macroscópico: la magnetización o momento magnético promedio. Pero este momento magnético debe apuntar en alguna dirección apuntar en alguna dirección. ¿Cuál? Imposible predecirla a priori, precisamente porque la dinámica es invariante con respecto a rotaciones: No hay direcciones privilegiadas y, sin embargo, el sistema debe adoptar una sola, *espontá-*

⁴ H. Primas, *Chemistry, Quantum Mechanics and Reductionism*, Springer, 1983.

neamente. He aquí, de nuevo, el indeterminismo característico de la mecánica cuántica, pero ya no como resultado de una medición sino como condición necesaria para la aparición del orden a partir del desorden inicial. (Esta es la pizca de aleatoriedad, el "elemento de indeterminación, espontaneidad o puro azar", que reclamaba el físico y matemático darwiniano Charles Peirce a finales del siglo pasado, como condición indispensable para producir diversidad y complejidad a partir de la unidad y la simplicidad iniciales⁵).

COHERENCIA CUANTICA: ¿UN ACERCAMIENTO A LOS CONCEPTOS DE LA VIDA?

Este descubrimiento tiene un significado trascendental: Es la demostración de que la física cuántica, a diferencia de la clásica, es capaz de comprender, describir y predecir la aparición de propiedades emergentes en sistemas macroscópicos. Que la mecánica cuántica, como afirma Prigogine, a pesar o precisamente a causa de su indeterminismo intrínseco, describe un mundo más ordenado que la mecánica clásica. Un aniversario newtoniano, conformado por partículas con identidad propia, moviéndose en el vacío de manera rigurosamente determinada por las fuerzas externas y por sus posiciones y velocidades en un instante dado, es, por principio, incoherente.

La coherencia exige subordinar la parte al todo en una forma que se puede expresar en lenguaje matemático: Existe una relación de incertidumbre entre número de partículas y fase del campo cuántico que describe un sistema en estado coherente; esto implica que la coherencia es incompatible con la determinación precisa del número de fotones en un láser o del número de átomos de una muestra de helio superfluido. Así, la coherencia se mantiene a condición de sacrificar en cierto modo la descripción en términos de partículas en número y con propiedades bien definidas.

Se puede mostrar, con base en el formalismo matemático de la teoría cuántica, que un superfluido no puede ser descrito como una yuxtaposición o ensamblaje de porciones superfluidas; la superfluididad es una propiedad del todo, no poseída individualmente por ninguna de sus partes⁶.

En un estado coherente el sistema no admite sino movimientos y excitaciones colectivas que no rompen su unidad y coherencia. Una partícula no puede absorber energía y momentum independientemente de la totalidad. Y esto, a su vez, explica la estabilidad de estos estados frente a los embates térmicos del exterior que tienden a desordenar el sistema.

⁵ Ch. S Peirce, *The Architecture of Theories*, en *The Monist* (1891).

⁶ A. G. de Mesa, *Ruptura Espontánea de Simetría, Orden y Topología*, en *Memorias de la VIII. Escuela Nacional de Física Teórica* (1991).

Este mecanismo de RES ha sido aplicado al universo en su conjunto para explicar la diversidad de las fuerzas y partículas que hoy existen a partir de una identidad y simetría originales. La historia del universo a partir del Big-Bang se describe como una sucesión de rupturas de simetría, que el físico Heinz Pagels condensó en una proposición en apariencia paradójica: "Desde el punto de vista de la física moderna el mundo entero puede verse como manifestación de una simetría rota"⁷.

Hoy muchos físicos de primera línea, como el premio Nobel Abdus Salam, piensan que fenómenos semejantes a los de superconductividad y superfluides pueden ocurrir en biología y que quizás un mecanismo similar al de ruptura espontánea de simetría puede ser crucial en la explicación del origen de la vida⁸.

Sin embargo, los sistemas vivos son sistemas fuera del equilibrio térmico, en intercambio incesante de energía y entropía con el exterior y con una fuerte tendencia a la estabilidad y permanencia de sus rasgos característicos. Por ello, quizás exijan para su descripción nuevos conceptos. Pero es posible que, en el futuro, los conceptos físicos de coherencia cuántica y ruptura espontánea de simetría puedan y deban ser incorporados como elementos básicos dentro de nuevos modelos biológicos.

En conclusión: La teoría cuántica permite describir rigurosamente sistemas que poseen una coherencia, integridad e inseparabilidad incompatibles con los conceptos y postulados básicos del mecanicismo clásico. Al redescubrir la coherencia en el mundo descrito por ella, la teoría cuántica ha sentado las bases de un nuevo tipo de racionalidad científica. Con este nuevo concepto de totalidad parece abrirse en la física un espacio a la comprensión de la vida.

¿Reduccionismo u holismo? Consecuencias lógicas

José Luis Villaveces C.*

PRELUDIO

En parte, este trabajo fue inspirado por el interés de contradecir una opinión que ha sido sostenida explícita o implícitamente por varios de los participantes en el Grupo de Ciencia Teórica a lo largo de las sesiones que se han extendido ya durante más de un año. En su forma más ostensible, esta hipótesis sostiene que estamos condenados a un conocimiento "incompleto", causado por la limitación de nuestras mentes para asimilar completamente la compleja y rica realidad. Frente a cualquier problema, por ejemplo el estudio de una vaca, de un proyectil o de un paisaje, podemos adoptar una perspectiva reduccionista, explicar el sistema por las propiedades de sus átomos -y entonces no podremos atrapar todos los detalles, seremos incapaces de seguir el comportamiento de todos y cada uno de los átomos, de todas las moléculas- o podemos adoptar una perspectiva holista, explicar el sistema por todas sus relaciones con el entorno -y entonces no seremos capaces de conocer todas las relaciones entre todas las partes del todo al cual pertenece nuestro sistema, vaca, proyectil o paisaje-. En cualquier caso, existe un conjunto completo de propiedades o de relaciones, del cual sólo podemos conocer una fracción. Nuestro conocimiento es fatalmente incompleto.

Esta concepción corresponde a la idea del conocimiento como mapa total de la realidad. Según ella, el acto de conocer sería el proceso por el cual nos

⁷ H. R. Pagels, *The Cosmic Code*, Bantam Books (1983).

⁸ A. Salam, *The role of chirality in the origin of life*, *J. Mol. Evol.*, 33 (1991).

* Grupo de Química Teórica - Universidad Nacional de Colombia
Miembro de número de la Academia Colombiana de Ciencias
Subdirector de Programas de Ciencia y Tecnología - Colciencias

crearíamos en el entendimiento un mapa completo de la realidad, con todos sus detalles, con todos sus aspectos. El conocimiento "completo" sería ese mapa, que debe existir "ahí, en la realidad" o en algún cielo platónico, en el cual está la idea completa de esa naturaleza frente a la cual, nosotros, debemos hacer de entrada un sacrificio, una renuncia. Debemos limitarnos y contentarnos con descripciones "incompletas". El científico está, por lo tanto, condenado a vivir en perenne estado de frustración.

Jorge Luis Borges ha descrito de manera precisa esta situación:

Del rigor en la ciencia

...En aquel Imperio, el Arte de la Cartografía logró tal Perfección que el Mapa de una sola Provincia ocupaba toda una Ciudad, y el Mapa del Imperio toda una Provincia. Con el tiempo, estos Mapas Desmesurados no satisficieron y los Colegios de Cartógrafos levantaron un Mapa del Imperio, que tenía el Tamaño del Imperio y coincidía puntualmente con él. Menos Adictas al Estudio de la Cartografía, las Generaciones Sigüientes entendieron que ese dilatado Mapa era Inútil y no sin Impiedad lo entregaron a las Inclemencias del Sol y de los Inviernos. En los Desiertos del Oeste perduran despedazadas Ruinas del Mapa habitadas por Animales y por Mendigos; en todo el País no hay otra reliquia de las Disciplinas Geográficas.

(Suárez Miranda: *Viajes de Varones Prudentes, libro cuarto, cap. XIV, Lérida, 1658.*)¹

El cuento nos muestra con claridad la inutilidad del conocimiento "completo", del mapa total de la "realidad". El mapa "completo", de lograrse, sería inútil. Renunciamos a él, pero no como un castigo a nuestra limitada condición de mortales. Renunciamos a él porque el mapa completo de la realidad no tiene interés, porque si ese fuera nuestro objetivo nos habríamos equivocado de meta. Conocimiento es procesamiento de la realidad, asimilación de ella, apropiación de los aspectos de ella que nos interesan. El conocimiento es una actividad de la cual somos protagonistas y no agentes pasivos. Buscamos el conocimiento incompleto porque el conocimiento útil *debe* ser incompleto, porque conocimiento no es la elaboración en nuestras mentes de un mapa del imperio que tenga el tamaño del imperio y coincida puntualmente con él, sino la construcción en nuestras mentes de imágenes, de modelos, de constructos formales que correspondan a nuestra asimilación de la realidad, que sean la realidad hecha pensamiento nuestro, que sean nuestra propia creación del mundo.

Una metáfora del acto de conocimiento, más apropiada que la de elaboración de un dibujo de la realidad con todos sus detalles en el interior de nuestros cerebros, es la de metabolización de la misma por un proceso interactivo de

¹ Borges, Jorge L. "Del Rigor en la Ciencia" en "Historia Universal de la Infamia" Alianza Emecé, Madrid, Buenos Aires, 4 Edición, p. 136.

interacción con ella.² Más parecido al proceso de interacción con una vaca cuando la digerimos. No buscamos convertirnos en una imagen de la vaca. Tratamos de que el pedazo de ella por nosotros elegido se haga nuestro. Con él participamos en el proceso de nuestra propia creación, de la construcción de nuestro propio yo. La posición de Maxwell, cuando hablaba del concepto de líneas de fuerza de Faraday, era parecida a esta: "El primer proceso en el estudio de las ciencias, debe ser la simplificación y reducción de los resultados de investigaciones previas a una forma en la cual la mente pueda assimilarlas".

EL REDUCCIONISMO

La imagen del mapa y de la renuncia tiene una fuerza poderosa, que se sustenta en el reduccionismo de corte mecanicista. Si el mundo es una máquina, para entenderlo necesitamos una copia completa de los planos de fabricación. Si por algún procedimiento obtenemos tan sólo una porción del plano, estaremos renunciando a algo, no comprenderemos la máquina completamente. La visión que criticamos está, por tanto, estrechamente ligada con la concepción mecanicista, que se desarrolló desde finales del renacimiento y logró su apoteosis con el auge de la física newtoniana.

Newton reemplazó la física antropomórfica y cualitativa de la edad media por una ley de procesos general y cuantitativa que pareció el ideal de la ley física, al cual todos los otros fenómenos podrían eventualmente ser reducidos. Esta convicción fue el motivo que guió mucha de la investigación científica de los siglos dieciocho y diecinueve.

Huygens, interpretándolo, escribió en 1690: "En la verdadera filosofía, las causas de todos los fenómenos naturales se conciben en términos mecánicos. Debemos hacer esto, en mi opinión, o abandonar toda esperanza de entender alguna vez cualquier cosa en física". Cerca de doscientos años después, Helmholtz todavía sostenía que "Entender un fenómeno significa tan sólo reducirlo a las leyes newtonianas. Entonces la necesidad de la explicación habrá sido satisfecha de manera palpable".

Dentro del paradigma mecanicista, el mundo es una máquina y el hombre es una máquina. No otra cosa fue la concepción de la anatomía postrenacentista que vio en esta forma al cuerpo humano y a cada una de las glándulas como una fábrica. El peso del mecanicismo se impuso sobre la biología y la fisiología y llegó a la química con Lavoisier y Newton, con el principio de conservación de la materia, el atomismo y la estequiometría. Sin embargo, porciones importantes de la química, que había sido recalitrante al mecanicismo, se mantuvieron inmunes a él. El surgimiento de la química estructural hacia 1860 marca, tal vez, el primer desarrollo científico moderno no mecanicista.

² Evidentemente, adoptamos una posición "realista", que no entraremos a elaborar acá. La adoptamos ingenuamente, como un postulado de partida de nuestro razonamiento, como hace prácticamente toda la ciencia occidental.

No obstante, el paradigma dominante sí fue aquel y, concomitantemente, la tarea de la ciencia se entendió como la de ir reconstruyendo el plano de la máquina poco a poco. La ciencia se veía como un saber acumulativo que desvelaba el misterio paso a paso, acercándose cada vez más a la Verdad.

En el contexto de las ciencias biológicas, el reduccionismo suele entenderse como aquella posición que permite comprender los seres vivos a través de la descripción de sus átomos y moléculas y las propiedades de ellos. Átomos y moléculas son las ruedecillas de la máquina viviente. En último término, reduccionismo es la concepción que pretende reducir la biología a la bioquímica. La teoría biológica, de bajo nivel, se va acercando a la verdad al reducirse a la teoría bioquímica, de mayor nivel.

Esta es una visión estrecha del reduccionismo. De manera más general, reduccionismo es la concepción que sostiene que todo sistema puede ser descompuesto en subsistemas, de cada uno de los cuales puede darse una descripción independiente, y con estas descripciones independientes se tiene un conocimiento completo del sistema entero.

Visto así, el reduccionismo se relaciona estrechamente con el mecanicismo. Reduccionismo es la suposición de que la máquina se explica completamente por sus resortes, sus ruedecillas y sus poleas. Si las tenemos, comprendemos la máquina y podemos armarla o desarmarla a voluntad.

Se podría ahora con nostalgia recordar que hubo una vez científicos que creían en leyes fundamentales. Los más imaginativos dentro de ellos, de hecho, encontraron leyes universales. El desarrollo de la misma ciencia, sin embargo, llevó desde la segunda mitad del Siglo XIX al escepticismo, a la pérdida de esa confianza heroica que permitió creer que unas cuantas manipulaciones de laboratorio y algo de matemática nos llevaban a entender de manera "objetiva" la verdad del universo. El cataclismo teórico y epistemológico ocurrido al comenzar el Siglo XX, aupado por la moderna teoría de grupos, nos permitió ver a través de las leyes fundamentales y su validez mágica desapareció. La ciencia perdió sus creencias. Las teorías ya no tienen que ser verdaderas, sólo útiles. Nos aproximamos a la naturaleza con métodos que nos permiten encontrar precisamente aquello que hemos puesto en ellos. Eddington, uno de los protagonistas de este cataclismo, precisamente el director de la expedición al Africa que, observando el eclipse total de sol en 1919 dio la primera confirmación experimental de la Teoría General de la Relatividad, lo describió hermosamente: "*Descubrimos una extraña huella sobre las playas de lo desconocido. Desarrollamos profundas teorías una tras otra para explicar su origen. Al final tuvimos éxito en reconstruir la criatura que dejó aquella huella. ¡Era la nuestra!*"³.

³ EDDINGTON, A. "*Space, Time and Gravitation*" Cambridge University Press, Londres, 1920. Es la última frase de este libro, probablemente el primer intento serio de divulgar la teoría de la Relatividad General.

Ningún científico serio aseguraría que las teorías que se manejan hoy día son algo más que aproximaciones razonables, fuertemente sesgadas por nuestras propias posibilidades, por determinantes sociales, económicos y aún biológicos de la especie humana.

Empero, el cataclismo epistemológico está lejos de haber producido cambios totales en los paradigmas, e incluso está lejos de ser conocido, comprendido y asimilado por muchos de los científicos contemporáneos. La mayoría de las teorías sobre los sistemas de la química, la biología y la sociedad se ven todavía limitadas por el paradigma clásico de explicación que presupone de manera irreflexiva la separabilidad de estos sistemas.

Queda pues, como pregunta abierta, el saber si tales teorías son aproximaciones de una descripción perfecta, desconocida por el momento, de la naturaleza. Este enfoque lleva a la creencia de un marco único de referencia para la descripción de la realidad. Esto es, uno podría esperar una secuencia ordenada de teorías, cada una de las cuales incluye a las precedentes y describe a la "realidad" cada vez mejor. Si la realidad es no separable, esta suposición es necesariamente falsa.

UNA VISION APARENTEMENTE ALTERNATIVA: EL HOLISMO

Desde el punto de vista filosófico, se ha planteado como alternativa a la visión reduccionista, la visión holista. De hecho, en el transcurso del trabajo del Grupo de Ciencia Teórica de la Academia Colombiana de Ciencias, ha sido idea motriz la posible antinomia reduccionismo-holismo.

En el contexto de la Biología, el holismo se inspira en la idea de que las partes de un todo orgánico exhiben patrones que no se mostrarían aisladas. Más específicamente, se sostiene que aunque poseamos una teoría completa de las partes, todavía no podríamos derivar de ella una descripción del todo. Un organismo se considera más importante que sus partes constituyentes en el sentido de que toda comprensión de la función de éstas presupone una comprensión del organismo total. Concomitantemente, la teoría de la emergencia supone que hay diferentes niveles de existencia tales que las entidades de un nivel superior son caracterizadas por propiedades específicas que no se encuentran en los niveles inferiores, y tales que es imposible deducir las características de un nivel superior a partir de las de un nivel inferior. Una *ley emergente* envuelve la aparición de nuevas variables que describen las nuevas cualidades. La cuestión de la relación funcional de estas variables nuevas con las inferiores es sujeto de controversia en la actualidad. Un ejemplo muy citado es que las sustancias pueden tener temperatura, las moléculas no.

Una definición mejor de holismo, que incluye a la anterior, parte de llamar *holístico* a un sistema si no puede ser descompuesto en subsistemas no triviales en forma tal que los estados de los subsistemas determinen el estado del sistema

total. Lo opuesto a un sistema holístico es un sistema *separable*. Los estados de los subsistemas de *toda* descomposición de un sistema separable determinan el estado del sistema completo. Los sistemas holísticos y separables son casos extremos. Un sistema que no es ni holístico ni separable se llama *parcialmente holístico*, y presenta aspectos holísticos y separables.

PROBLEMAS DEL REDUCCIONISMO

En un cuento de Stanisław Lem, Igon Tichy llega a un planeta muy pequeño cuyos habitantes habían desarrollado máquinas reductoras para ocupar menos espacio. A horas programadas, algunos habitantes entraban a la máquina, que los dejaba reducidos a un polvillo durante algún tiempo, al cabo del cual los reconstruía. El héroe, inadvertidamente abre la máquina mientras su amable anfitrión está reducido y el polvillo se esparce y se pierde. El hijo de su anfitrión lo sorprende y Tichy, aterrorizado le explica su grave error. El muchacho no se inmuta, va a la botica y compra carbono, fósforo, nitrógeno, etc., en proporciones adecuadas, lo coloca en la máquina y la pone a andar. Su padre sale de ella reconstruido, sin haberse percatado siquiera de la dificultad. ¿Reduccionismo total? ¿Se reduce el padre enteramente a los elementos que lo constituyen? ¿Bastan ruedecillas y poleas similares para armar la misma máquina?

La concepción reduccionista-mecanicista provino de la Física y se impuso sobre la cultura occidental. A mediados del Siglo XIX, el criterio de cientificidad estaba relacionado con la capacidad de describir un proceso mediante las ecuaciones de la mecánica, como en la cita de Helmholtz que recordábamos anteriormente.

Sin embargo, la Física del Siglo XX *tuvo* que dejar de ser mecanicista. Las ondas se le volvieron partículas, las partículas se le volvieron ondas, lo localizable se delocalizó y lo no-localizable se localizó, y, en medio de un gran estrépito, la visión mecanicista del mundo desapareció.

La historia había comenzado años atrás. "Cuando el advenimiento de la mecánica cuántica se estudia en una perspectiva histórica más amplia, es visto como un paso más en un proceso de desintegración de la visión mecánica, que comenzó en la segunda mitad del siglo diecinueve y al cual Einstein mismo hizo contribuciones decisivas".⁴ Las ecuaciones de Maxwell comenzaron a mostrar las limitaciones del programa mecanicista. A pesar del uso que hizo él mismo de analogías mecánicas, tomarlas en serio requería postular un *éter* de propiedades contradictorias, al cual Michelson y Morley dieron el golpe de gracia. Cuando la teoría de Maxwell cosechaba éxitos pero no podía ser reducida a imágenes mecánicas, Hertz escribió: "La teoría de Maxwell no es nada más que las ecuaciones de Maxwell", anunciando así la llegada de una nueva forma de pensar, en la cual las ecuaciones reemplazaban a las imágenes de relojería.

⁴ Jauch. *op. cit.* p. 68

Fue el problema de reconciliar electromagnetismo y mecánica el que llevó a Einstein a escribir en 1905 su famoso artículo de los *Annalen der Physik* "Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento", en el cual se expuso por primera vez la teoría de la relatividad y se muestra que para contestar a una pregunta tan simple como ¿cuál es la longitud de esta varilla? se requiere considerar el sistema de referencia, además del objeto.

La condición de constancia de la velocidad de la luz en el vacío implicó que el concepto de cuerpo rígido no es más que una aproximación. Este concepto es crucial en la teoría atómica clásica, porque en ella los constituyentes finales del universo son objetos pequeños e indivisibles unidos rígidamente a las otras partes. Los engranajes y poleas de la gran maquinaria comenzaron a volverse fluidos. La teoría especial de la relatividad nos enseñó que los objetos electromagnéticos no son mecánicos. Pero, al mismo tiempo, el desarrollo de la teoría atómica iba demostrando que los átomos y las moléculas son objetos electromagnéticos, por lo tanto el mundo que ellos constituyen es no mecánico.

Completada la primera cuarta parte del siglo se desarrolló la teoría cuántica, que mostró que todo intento de describir y seguir a una partícula atómica con detalle preciso no tiene sentido, es decir, que no tiene sentido la explicación del universo por las ecuaciones newtonianas de sus partículas constituyentes. El sueño de Laplace se evaporó.

Mucho se ha especulado sobre este "fin del determinismo". Más importante en relación con nuestro tema fue la constatación de que tampoco tiene sentido descomponer un sistema completo en sus partes. La interacción y la correlación entre ellas se mantendrá. Las partes del sistema no son separables entre sí, el aparato con que hacemos las medidas no es separable del sistema y ni siquiera el observador, enfundado en su bata blanca, es separable de los anteriores.

La separabilidad se vio así seriamente cuestionada y con ella el reduccionismo. El resultado del gigantesco esfuerzo por entender los átomos, las piecitas del mecanismo de relojería que hacían posible entender todo el universo a partir de ellas, si conocíamos los planos, es decir, las "leyes fundamentales", llevó a que las piezas son fluidas, no siguen "trayectorias" describibles por leyes mecánicas y no se pueden separar entre sí. ¡Llevado el reduccionismo a sus últimas consecuencias, el mínimo sistema que podemos considerar es el universo entero!

PROPIEDADES NO-CONSISTENTES Y COMPLEMENTARIEDAD

Las nuevas teorías funcionan pero no se entienden

Cuando nació la mecánica cuántica a mediados de la década del veinte, una profunda angustia se apoderó de quienes habían escrito las ecuaciones, porque no lograban interpretarlas. De Broglie abrió el camino, con una extraña analogía en su tesis doctoral. El imaginó que cada electrón en un átomo está acompa-

ñado por una curiosa onda piloto que se extiende por toda la órbita. Vinculando esta idea con las viejas ideas de Bohr sobre las órbitas estacionarias, logró producir la condición de longitudes de onda enteras sin introducir ninguna condición de cuantización, o, mejor, cambiándola, por la condición de un número entero de ondas en cada órbita. Sin embargo, no llegó muy lejos en las consecuencias matemáticas de su idea, que parecía tan traída de los cabellos, que alguien la llamó la *Comedie Française* ⁵. El desarrollo real fue hecho por Schrödinger en un artículo que comienza con las siguientes palabras: "En este artículo deseo considerar, primero, el caso simple de un átomo de hidrógeno (no-relativista y no-perturbado), y mostrar que las condiciones cuánticas acostumbradas pueden ser reemplazadas por otro postulado en el cual la noción de "números enteros", como tales meramente, no se requiere. En vez de ella, cuando la integralidad aparece, lo hace en la misma forma natural en que lo hace en el caso de los números de nodo de una cuerda vibrante. Esta nueva concepción puede ser generalizada y golpea, creo, muy profundamente en la verdadera naturaleza de las reglas cuánticas" ⁶. El interés era buscar la "verdadera naturaleza de las reglas cuánticas" y a pesar de que la mecánica ondulatoria de Schrödinger funcionaba muy bien para reproducir el espectro del átomo de hidrógeno y para resolver otros problemas, quedaba flotando en el aire la pregunta más difícil: ¿qué era lo que vibraba?

La situación no mejoró cuando, casi simultáneamente, Heisenberg publicó su artículo. Su idea, dentro de una filosofía estrictamente positivista, era construir una teoría cuántica sin ninguna mención a las órbitas de los electrones, ya que éstas no son accesibles a la observación. Un oscilador clásico se define por el desplazamiento con respecto a la posición de equilibrio y por la velocidad con que esto sucede. Posición y momentum permiten encontrar la frecuencia y la intensidad de la vibración. Los espectros ópticos sí eran bien conocidos y correspondían a un arreglo infinito de frecuencias e intensidades. Heisenberg trató de construir, mediante un análisis de Fourier, nuevas variables que reemplazaran a las posiciones y velocidades, obtenidas de las cantidades que sí tienen sentido experimental: frecuencias y amplitudes. Para hacerlo comenzó por postular una nueva manera de elevar al cuadrado la variable que reemplazaba a la posición, y esto lo llevó a un nuevo tipo de multiplicación que resultó no-conmutativo.

A primera vista no podían ser más distintos los enfoques, igualmente exitosos, de de Broglie-Schrödinger y de Heisenberg. "Si se toman en consideración las extraordinarias diferencias entre los puntos de partida y los conceptos de la mecánica cuántica de Heisenberg y de la teoría que ha sido denominada mecánica "ondulatoria" o "física" y ha sido recientemente descrita aquí, es muy extraño que las dos teorías estén de acuerdo entre sí en relación con los hechos

⁵ Citado por Georges Gamow en "Thirty years that shook Physics. The Story of Quantum Theory" Doubleday and Co. Nueva York (1966), Dover reprint N.Y. (1985), p. 81

⁶ Schrödinger E. Annalen der Physik (4), 79, 361 (1926)

conocidos, cuando difieren de la teoría cuántica vieja. Me refiero, en particular a la peculiar <<semi-integralidad>> que resulta en conexión con el oscilador y el rotor. Esto es realmente muy notable, porque los puntos de partida, las presentaciones, los métodos y de hecho, todo el aparato matemático, parecen fundamentalmente diferentes. Sobre todo, sin embargo, el alejamiento de la mecánica clásica en las dos teorías parece ocurrir en direcciones diametralmente opuestas. En el trabajo de Heisenberg, las variables continuas clásicas son reemplazadas por sistemas de cantidades numéricas discretas (matrices), que dependen de un par de índices enteros, y son definidas por ecuaciones algebraicas. Los autores mismos describen la teoría como una <<verdadera teoría de un discontinuo>>. Por otra parte, la mecánica ondulatoria muestra la tendencia opuesta; es un paso de la mecánica clásica de puntos hacia una teoría del continuo. En lugar de un proceso descrito en términos de un número finito de variables dependientes que aparecen en un número finito de ecuaciones diferenciales totales, tenemos un proceso continuo tipo campo, en el espacio de configuraciones, gobernado por una ecuación diferencial parcial única, derivada de un principio de acción. Este principio y esta ecuación diferencial reemplazan las ecuaciones del movimiento y las condiciones cuánticas de la vieja <<teoría cuántica clásica>>. ⁷

Fue el mismo Schrödinger, en el artículo que acabamos de citar, quien mostró que "desde el punto de vista matemático, uno bien puede hablar de la identidad de las dos teorías".

Fenomenológica y matemáticamente, el problema estaba resuelto. Interpretativamente, no. No se entendía qué era lo que vibraba, qué implicaciones tenían las variables no conmutativas de Heisenberg o los nuevos números q que presentó Dirac en 1926 y que acabaron de complicar el cuadro.

"Muestra el gran genio de los pioneros que fueron capaces de desarrollar una nueva mecánica a pesar de la falta de comprensión más profunda de sus principios guía. Durante décadas el éxito no explicado del principio de correspondencia y del formalismo de Hamilton permaneció en el misterio. Como sabemos hoy, una razón es que la mecánica clásica no se entendía bien. A pesar de que los principios de invariancia jugaban un papel decisivo en el pensamiento de Galileo Galilei (1564-1642), y a pesar de que Eugen Wigner y Hermann Weyl vieron desde el mismo principio las implicaciones de la nueva mecánica cuántica desde el punto de vista de la teoría de grupos, la primera discusión completa del grupo de Galileo en la mecánica cuántica se debe a Valentine Bargmann ¡treinta años después de la brecha abierta por Heisenberg! ⁸

En esos años pioneros, caóticos y fecundos de 1925 y 1926 se hacía imperioso interpretar los nuevos formalismos matemáticos y no había mucho más que la intuición para ello. Heisenberg, Bohr y Schrödinger hicieron sus propuestas.

⁷ Schrödinger, E. Annalen der Physik (4), 79, 734 (1926)

⁸ Primas op. cit. p. 55

El 16 de Septiembre de 1927 al borde del Lago de Como, al norte de Italia, se conmemoraron los cien años de la muerte de Alessandro Volta. En este evento se comentaron ampliamente los más recientes desarrollos acaecidos en la física y en él presentó Bohr por primera vez su "Principio de Complementariedad", que pareció ofrecer una salida.

LA COMPLEMENTARIEDAD

Aunque Bohr nunca la enunció con toda claridad, ya desde las notas preparatorias de su intervención en Como y en su subsecuente presentación en el Congreso Solvay en Bruselas, comenzó a precisar la idea de la complementariedad:

"It seems that we here meet with an unavoidable dilemma, ... the question being not a choice between two different rivalising concepts but rather of the description of two complementary sides of the same phenomenon" ⁹.

La propuesta de Bohr es que nuestra manera de hacer los experimentos conlleva que cada dato, cada propiedad sean obtenidos dentro de un montaje experimental particular y distintas propiedades requieran distintos montajes experimentales. "Los datos obtenidos en condiciones experimentales distintas no se pueden recoger en una imagen singular, sino que deben ser considerados como complementarios, en el sentido que sólo la totalidad de los fenómenos agota la posibilidad de información respecto a los objetos" ¹⁰.

"Siendo así las cosas, la atribución de cualidades físicas tradicionales a los objetos atómicos implica un elemento esencial de ambigüedad, como se ve inmediatamente en la contradicción relativa a las propiedades corpusculares y ondulatorias de los electrones y de los fotones, en las cuales nos hallamos frente a imágenes contrastantes, cada una de las cuales se refiere a un aspecto esencial de los datos experimentales" ¹¹.

El punto importante es esa ambigüedad. Las descripciones que podemos dar de los objetos son incompletas y requerimos varias explicaciones complementarias para poder dar cuenta del sistema físico en su totalidad.

Directamente relacionada con esta dificultad está el problema, señalado por Bohr y fundamental en toda la teoría cuántica de la medida, de que cada aparato, durante el acto mismo de la medida, interactúa estrechamente con el sistema. La suposición clásica consistente en que el sistema puede verse como es-

trictamente independiente del aparato es falsa. Durante la medida, sistema y aparato interactúan estrechamente y esa interacción modifica las propiedades del aparato, lo cual es necesario para la medida, tanto como las del sistema que no puede ser considerado independiente. Durante la medida el sistema es *abierto*. Sólo el conjunto sistema-aparato es cerrado y, por lo tanto, sólo las propiedades de este conjunto son conocidas. El tamaño de la interacción misma no puede detectarse, pues es un proceso que ocurre dentro de un sistema abierto. Cada montaje experimental, necesario para determinar cada propiedad, conlleva así una cierta perturbación particular del sistema. El ideal del sistema cuyas propiedades se miden sucesivamente sin ninguna ambigüedad resulta ser una quimera.

La idea de la complementariedad se vio reforzada con el enunciado del principio de incertidumbre de Heisenberg, que recalca que las propiedades canónicamente conjugadas no pueden determinarse simultáneamente y requieren de arreglos experimentales diferentes. Aun cuando hayamos determinado una de ellas, si luego determinamos la otra, perdemos información sobre la primera, que debe ser determinada de nuevo, con lo cual, de nuevo, no conocemos el valor de la segunda. Heisenberg y Born mostraron que esta indeterminación estaba estrechamente ligada a la no-conmutatividad de los productos de las variables físicas. En el corazón mismo de la teoría subyace la ambigüedad fundamental.

Desde 1927 hasta la fecha, el principio de complementariedad ha sido objeto de muchos estudios, que han ido desde el debate Bohr-Einstein, uno de los episodios culminantes de la historia del pensamiento de la humanidad, hasta todo tipo de basura mística o ideológica. Cuando se conmemoraba el centenario del nacimiento de Bohr, Martínez-Chavanz hizo un recuento de la situación a este respecto ¹².

A pesar de toda la discusión que ha habido en torno de él, a pesar de la vaguedad en que siempre permanecieron los enunciados de Bohr, a pesar de que la complementariedad se ha presentado en diversas formas, no todas congruentes: complementariedad onda-partícula; complementariedad entre las visiones cinemática y dinámica de la mecánica cuántica; complementariedad entre variables canónicamente conjugadas, principio de incertidumbre como base empírica de la complementariedad, etc., la idea esencial de la ambigüedad inherente a nuestras descripciones de los sistemas físicos permanece como uno de los hallazgos fundamentales de ese duro período de revoluciones científicas que comenzó a principios de este siglo, que no ha sido asimilado aún en toda su amplitud y que hemos tratado de reseñar en las líneas anteriores.

"Dos conceptos son complementarios en el sentido de Bohr si y sólo si

- (a) tienen significados diferentes, o predicen propiedades diferentes,
- (b) tomados en conjunto constituyen una descripción completa o una representación de una cosa,

¹² Martínez-Chavanz R. *op. cit.*

⁹ Nota recogida en las Obras Escogidas de Bohr, VI, p. 69. Citada en Murdoch *op. cit.* p. 55. Las tachaduras son de la mano de Bohr.

¹⁰ Bohr N. "Discusiones con Einstein sobre los problemas epistemológicos de la física atómica" en Schilpp P.A. en "Albert Einstein: Philosopher-Scientist", The Library of Living Philosophers - Evanston Ill. (1949). La cita está tomada de la edición italiana "Albert Einstein. Autobiografía Científica" Boringhieri, Turín, (1979), p. 113.

¹¹ Bohr N. *op. cit.*, p. 114

(c) *son mutuamente excluyentes o incompatibles sea en sentido lógico, sea en sentido empírico*"¹³.

El uno no se explica por el otro, el otro no se explica por el uno y los dos no son reducibles a una explicación común.

CONSECUENCIAS LOGICAS

Experimentos "SI-NO"

Consideremos un sistema físico. Para determinar sus características físicas, realizamos una serie de experimentos que, en su conjunto, sean una definición operacional completa del sistema. En esta forma, lo caracterizamos completamente.

En principio, los experimentos físicos hechos con un sistema cualquiera pueden ser de muchos tipos diferentes, y dar resultados que pueden expresarse de muy diversas maneras.

Concentraremos nuestra atención en un tipo particular de experimento al cual llamaremos *Experimento Si-No*. Esta es una observación de un tipo tal que no permite sino una de dos alternativas como respuesta. Aunque estamos acostumbrados a hacer experiencias de ese tipo, poco nos damos cuenta de que *toda medida de un sistema físico puede, en principio, reducirse a medidas de un cierto número de experimentos si-no*. Este teorema está relacionado con el hecho de que todo lenguaje puede ser digitalizable, esto es, reducido a una cadena de unos y ceros.

Un ejemplo típico de reducción a experimentos si-no es un analizador de canales. Cada canal individual define un experimento si-no y el conjunto permite la medida de un espectro. Cada cantidad medible tiene un cierto rango de valores que puede ser indicado por un subconjunto de la recta real. Una medida de esta cantidad se efectúa dividiendo la recta real en pequeños intervalos y decidiendo si el valor medido cae en uno de ellos. Haciendo los intervalos suficientemente pequeños, uno puede determinar el valor con toda la precisión deseada. Esto está directamente en relación con el hecho de que en realidad uno no hace nunca medidas sobre los reales, sino sobre los racionales. Generalmente dividimos en potencias de 10 la recta real y damos los resultados con una precisión a la centésima, a la milésima, etc.

En un experimento equivalente, podríamos colocar contadores bidimensionales sobre una superficie y medir secciones transversales. Un ejemplo cotidiano de esto es colocar baldes sobre el tapete cuando tenemos goteras.

¹³ Murdoch. *op.cit.* p. 60

El ejemplo del analizador de canales ilustra la terminología acostumbrada: un experimento si-no que selecciona los valores de una cantidad física medible es llamado un *filtro* para esta cantidad y el conjunto de todos los experimentos si-no que pueden realizarse sobre un sistema serán llamados sus *proposiciones*.

EJEMPLO:

Si quisiéramos medir la posición de un protón, colocaríamos un cierto número de contadores en varias posiciones del espacio y registraríamos su respuesta. Supongamos que tenemos dos proposiciones a y b que pueden medirse con dos contadores. El contador A localiza un protón en el volumen V_A y el contador B lo localiza en el volumen V_B . Las respuestas de los dos contadores no pueden ser enteramente independientes. Esto es obvio en el caso $V_A \subseteq V_B$, ya que entonces, siempre que el contador A indique "sí", el contador B también lo hará. (Suponiéndolos 100% perfectos). Entre algunos pares de proposiciones existe una relación que podemos expresar como $a \subseteq b$, entendiendo por esto que siempre que a sea cierta, b lo será también.

El conjunto de todas las proposiciones de un sistema físico es un conjunto parcialmente ordenado. Decimos que a implica b y escribimos $a \subseteq b$ si, siempre que a sea verdadero, b también lo es. Como medida física, $a \cup b$ implica la medida de a o de b . Esta proposición es cierta cuando la medida de alguna de las dos proposiciones a ó b sea positiva. La medida física de a y b , sin embargo, reviste características muy especiales: $a \cap b$. La proposición es verdadera si tanto a como b , medidos separadamente, dan resultado positivo. Basta con medir una cualquiera de las dos proposiciones y, si ella es verdadera, medir la otra. Si el segundo resultado es verdadero, la proposición $a \cap b$ también lo será. Hasta aquí no hay ninguna complicación y, en buena medida, la física clásica está construida sobre esta lógica.

Sin embargo, en física cuántica, las cosas no son tan simples. El principio de complementariedad, la existencia de propiedades no consistentes o el principio de incertidumbre, nos llevan todos a concluir que si medimos a y ella da un resultado positivo y luego medimos b y también lo da, ahora no sabemos nada sobre a , por lo tanto debemos volverla a medir y ahora no sabremos qué decir de b , que deberá ser medida de nuevo, y así sucesivamente. El filtro para la proposición $a \cap b$ será una serie infinita de filtros alternantes para a y b sucesivamente.

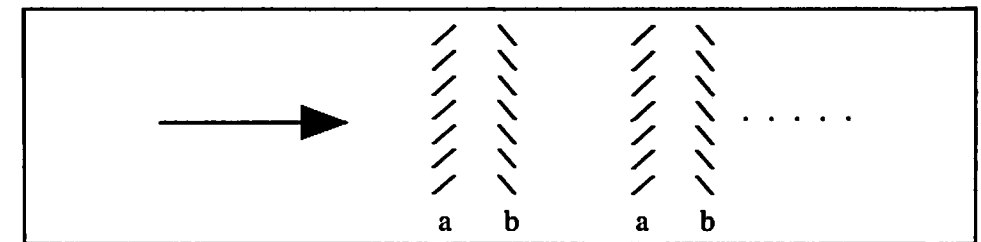


Figura No. 1. Filtro para la proposición $a \cap b$ en física cuántica.

La lógica cuántica

Esto se debe a la existencia de medidas incompatibles que la mecánica cuántica puso en evidencia, al estudiar sistemas de dimensiones atómicas, electrones y fotones, pero no es de ninguna manera exclusivo de ellos y, por todo lo mejor que sabemos al acabarse el Siglo XX, es una característica general de todo el universo. La conclusión es que la existencia de medidas incompatibles, la complementariedad de nuestras descripciones de los sistemas, como comenzó a comprenderla Bohr cuando preparaba su intervención en el lago de Como, nos conmina a tener cuidado con el cálculo proposicional que usemos. La simple operación $a \cap b$ tendrá un significado bien distinto en una ciencia basada en experimentos, del que tiene en la lógica booleana que acepta que podemos conocer simultánea y rigurosamente el valor de verdad de dos proposiciones distintas. Un álgebra basada en esta operación será diferente cuando las proposiciones se refieran al mundo físico.

Esto fue lo que comprendieron von Neumann y Birkhoff en 1936¹⁴, partiendo de que los observables se representan por operadores hermíticos y que aquellos cuyos espectro consta sólo de los valores 1 y 0 son llamados *proyectores* y corresponden a los experimentos si-no, que indican si un evento ha ocurrido. El teorema espectral indica que todo observable puede ser reconstruido a partir de sus proyecciones espectrales, es decir, a partir de experimentos si-no. Esto sugiere inmediatamente que las proposiciones empíricamente verificables no forman un álgebra booleana. Cada proyector, es decir, cada proposición empíricamente verificable está asociada con un subespacio cerrado del espacio de Hilbert y los subespacios de un espacio de Hilbert forman un conjunto parcialmente ordenado bajo la operación de inclusión y por lo tanto un retículo ortocomplementado (*orthocomplemented lattice*). Birkhoff y Von Neumann mostraron que un retículo de estos corresponde a un álgebra de proposiciones similar al álgebra booleana, con la diferencia de que no se cumple la distributividad. Es decir, que la relación

$$a \cap (b \cup c) = (a \cap b) \cup (a \cap c)$$

no sea válida en general, debido precisamente a la dificultad de medir simultáneamente a y b.

La existencia de variables canónicamente conjugadas que requieren de montajes experimentales diferentes para su determinación implica que los sistemas no son separables de los aparatos, que no podemos observar las piecillas del universo como piezas aisladas, sin contar con los aparatos de observación, que debemos tener descripciones complementarias del sistema, es decir, mutuamente excluyentes y no reducibles a una explicación común y que, al relacionar estas proposiciones mediante un cálculo proposicional, no podemos usar el álgebra booleana.

¹⁴ Birkhoff G., Neumann J. von "The logic of Quantum Mechanics" Annals of Mathematics 37, 823-843 (1936).

Las proposiciones en física clásica forman un retículo booleano siempre pero en los sistemas cuánticos el retículo de todas las proposiciones empíricamente verificables es no distributivo. No obstante, en general, contiene muchos subtítulos booleanos entrelazados. Cuando hacemos un experimento particular, estamos trabajando con uno sólo de estos. Es sólo al hacer dos experimentos sobre el mismo sistema que correspondan a dos propiedades incompatibles, canónicamente conjugadas, que trabajamos con subtítulos booleanos cuya unión no es booleana. En este caso la no distributividad se hace importante.

Desde el punto de vista del cálculo proposicional, encontramos pues que la lógica booleana es local. Nuestra fuerte convicción de que la naturaleza -que hemos aprendido a observar con nuestros sentidos, es decir, de una manera local-, es booleana, puede ser una adaptación evolutiva que nos ha condicionado a preferir las proposiciones con valores de verdad tajantes y sin ambigüedad. Tal vez nuestros antepasados cazadores no hubieran sobrevivido aceptando la indecidibilidad de muchas proposiciones del tipo $a \cap b$.

Reduccionismo, lógica booleana y mecanicismo, se muestran así como tres aspectos distintos de una manera de entender el mundo, útil para tomar decisiones rápidas pero insuficiente e incompleta como base de una comprensión científica del universo.

Al comenzar este trabajo mencioné mi incomodidad con las visiones que aseguran que fatalmente tendremos una visión incompleta de la naturaleza. Termino afirmando que, si nos limitamos a visiones reduccionistas, mecanicistas o booleanas, esta fatalidad se cumple. Dentro de estas visiones debe existir el mapa total, el plano del arquitecto del universo y estamos condenados a no conocerlo jamás. Borges entendió que, de todos modos, conocerlo por completo sería equivalente a desconocerlo en absoluto. El desarrollo de la ciencia en el Siglo XX nos llevó, por razones probablemente más poderosas e interesantes, a dejar atrás el paradigma mecanicista con todas sus implicaciones. Con ello, a dejar atrás este sentimiento de fatalidad y de frustración. Desafortunadamente, falta mucho para que los nuevos paradigmas no-mecanicistas sean siquiera conocidos. ¡Cuánto faltará para que sean asumidos y lleguen a formar parte de nuestro patrimonio intelectual común! Los dibujos de los libros de texto, aún de los serios, que representan las moléculas como *mecanos* de bolitas y palitos o a los ribozomas como fábricas en algún suburbio celular no ayudan a eliminar la visión mecanicista. Esta tarea requerirá todavía de más de un cambio generacional.

Un Seminario Nacional sobre el quehacer teórico puede ser un buen momento para invitar a reflexionar sobre éste cambio. Termino invitando a ello.

POST-SCRIPTUM

Después de expuesto el trabajo anterior durante el Seminario Nacional sobre el quehacer Teórico, alguno de los asistentes intervino para decir que las lógicas no-booleanas no existen, puesto que a ellas se llegó a través del estudio del

espacio de Hilbert, que es la verdadera base matemática de la Mecánica Cuántica y este espacio se basa en el análisis usual y, por lo tanto, en la lógica booleana.

Sin embargo, el que ideas generales se hayan ido gestando a través del uso de ideas particulares no quiere decir que aquellas estén contenidas en estas. En un sistema estrictamente deductivo todos los teoremas están lógicamente contenidos en los axiomas, pero muy pocos esquemas epistemológicos aceptarían esta reducción que no deja paso al descubrimiento. De hecho, la creencia generalizada en que la ciencia es un sistema de conocimiento que progresa -por acumulación, por ensayo y error, a través de revoluciones, o de cualquier otra manera- parte de suponer que en una etapa dada de su historia se tiene conocimiento que no se tenía en etapas anteriores. Es decir, hay conocimiento emergente y uno de los más arduos problemas de la epistemología es explicar esta emergencia. Tomada literalmente la afirmación del comentarista, ésta querría decir que, puesto que siempre hemos usado lógicas booleanas, siempre tendremos que usarlas, porque todo lo que pensemos estará contenido en estas. Igualmente habría podido afirmar que, si siempre hemos usado geometrías euclidianas, siempre tendremos que usarlas, puesto que aprendimos a pensar geoméricamente en forma euclidiana. De hecho, los primeros triángulos cuyos ángulos internos no suman ciento ochenta grados fueron encontrados en forma totalmente euclidiana, al dibujarlos sobre la superficie de una esfera.

El paso de lo euclidiano a lo no-euclidiano se dio al ver que uno de los postulados de Euclides era innecesario. Se podían construir sistemas geométricos completos sin usar el axioma de las paralelas. Algunos podrían decir que entonces no deben llamarse "geometrías". Puede ser, pero esta discusión nominalista carece de interés. De la misma manera, se pueden construir cálculos proposicionales sin usar el axioma de la distributividad. Eso fue lo que mostraron Birkhoff y Von Neumann. Ellos llamaron a estos sistemas "lógicas cuánticas" en un momento en que la lógica booleana era la única forma conocida de cálculo proposicional. Se ha argüido que estos sistemas no deben llamarse "lógicas". Puede ser.

De todas maneras, su uso dentro de la teoría cuántica es preciso y no debe confundirse. La lógica cuántica se refiere a las *propiedades* del sistema. Es un cálculo proposicional sobre los resultados de los Experimentos sí-no. No se refiere a la metalógica de la teoría cuántica, que siempre ha sido y sigue siendo booleana. A esta metalógica pertenecen las deducciones matemáticas. No a la teoría científica, sino a su metateoría. Por tanto, el que las propiedades del Espacio de Hilbert sigan siendo booleanas no tiene nada que ver con que la lógica de las proposiciones, que corresponde al retículo de los subespacios del Espacio de Hilbert no lo sea ¹⁵.

¹⁵ Sin embargo, aunque ha merecido mucha menos atención que otros problemas menos relevantes de la interpretación de la teoría cuántica, es un tema que no ha dejado de atraer el interés. Putnam desarrolla el tema de la relación entre los cismas en lógica y en geometría. "*Mathematics,*

BIBLIOGRAFIA

- EDDINGTON Arthur. "*Space, Time and Gravitation*" Cambridge University Press, Londres, 1920
- JAUCH, Josef Marie. "*Foundations of Quantum Mechanics*" Addison Wesley, Reading Massachusetts, 1968.
- MARTINEZ-CHAVANZ, Regino. "*En torno a la complementariedad de Bohr*". En "*Vida y obra de Niels Bohr*". ICFES Serie Memorias de eventos científicos colombianos. 50 pp 147-174 (1987)
- MURDOCH, Dugald. "*Niels Bohr's philosophy of physics*" Cambridge University Press, Cambridge U.K., 1987.
- PIRON, Constantin. "*Foundations of Quantum Physics*" W.A. Benjamin Inc., Reading Massachusetts, 1976
- PRIMAS, Hans. "*Chemistry, quantum mechanics and reductionism. Perspectives in Theoretical Chemistry*". Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 1983

Matter and Method: Philosophical Papers", Cambridge U. Press (1975); Bunge lo critica en "*Foundations of Physics*" Springer Verlag (1967); Jammer hace un estudio muy detallado y autorizado en "*The Philosophy of Quantum Mechanics. The interpretation of Quantum Mechanics in historical perspective*" J. Wiley, Nueva York, (1974). Los más rigurosos desarrollos contemporáneos de la teoría cuántica usando el cálculo proposicional no-booleano y basados seriamente en la teoría contemporánea de la medida, son de la escuela de Ginebra y están en las obras citadas de Jauch y Piron.

Qué tan reduccionista es la reducción fenomenológica

Guillermo Hoyos Vásquez*

*"Wissenschaft ist Gemeinschaftssache" (La ciencia es asunto comunitario)
(Edmund Husserl, febrero 1933).*

Me propongo presentar el camino recorrido por el fundador de la fenomenología Edmund Husserl para fundamentar la filosofía y con ella tanto las ciencias como el conocimiento cotidiano en lo que él mismo llamara "el darse las cosas mismas". Este camino es caracterizado por él como el de la reducción fenomenológica trascendental.

Quiero con esta presentación ver si el método de la reducción utilizado por la fenomenología ayuda a clarificar el sentido mismo del reduccionismo epistemológico; pero sobretodo quiero analizar si dicho método necesariamente se queda en un reduccionismo o si por el contrario puede dar elementos para superarlo. Pienso que esto es posible si las reducciones fenomenológicas propuestas por Husserl son aplicadas como aporte crítico en un análisis descriptivo, pero sólo sí para la reconstrucción de la experiencia y del conocimiento, lo que Husserl llamó "constitución de sentido" y "validación de realidad", nos valemos de una concepción comunicativa del lenguaje. Esto significaría que la reducción es la "pars destruens" y la comunicación la "pars construens" del proceso de conocimiento.

El punto de partida del fenomenólogo es la así llamada "actitud natural" del realismo ingenuo¹, en la cual se me da el mundo y los objetos que se encuentran

* Departamento de Filosofía - Universidad Nacional de Colombia

¹ HUSSERL, E. 1949. Ideas relativas a una fenomenología pura y una filosofía fenomenológica. FCE. México, pp. 64 ss.

en él como si estuvieran puestos ahí delante de mí, a la mano, perceptibles, objeto de mis experiencias, consideraciones y juicios. En actitud natural juzgamos de las cosas como se nos dan "puestas" (posita) ahí en el mundo. En dicha actitud estamos como perdidos, alienados en el mundo, somos un objeto más en el mundo. Pero el fenomenólogo no se da por satisfecho de que las cosas se le presenten de esta forma en la actitud natural, pues él sabe que el escéptico se pregunta con toda razón si efectivamente las cosas se me dan como yo pienso que se me dan cuando juzgo sobre ellas a partir de esta ingenuidad natural.

Qué ocurre si yo reflexiono un momento sobre la manera como se me dan las cosas que en la "actitud natural" yo creo que están ahí delante? Las cosas se me dan en mi conciencia de ellas, es decir se me dan en una perspectiva determinada, relativa a mi posición en el espacio y en el tiempo, y se me dan en diversos actos de conciencia, como sentir, percibir, opinar y juzgar. En este sentido Husserl cree poder dar razón en un primer momento al escepticismo, cuya verdad radica precisamente en destacar este darse subjetiva relativamente las cosas a quien las percibe para juzgar de ellas. Se reconoce la verdad del escepticismo, salvando los fenómenos, para reconstruir a partir de ellos, sin suplantarlos apresuradamente por datos empíricos, el auténtico sentido de objetividad y de verdad. En efecto el problema del conocimiento es explicar cómo puedo yo conocer los objetos en el mundo cuando de ellos lo único que tengo son mis vivencias.

Para poder analizar mejor la manera como se me dan las cosas, como soy consciente por ejemplo de la mesa que tengo ahí delante, propone Husserl que él llama la "epoché". Mediante ella "suspende", "desconecta", "pone entre paréntesis" la tesis general de la actitud natural, que consiste en creer que las cosas se me dan como "siendo" allí delante de mí. Dicha tesis es presupuesto universal de toda opinión en la experiencia cotidiana y a partir de ella de todo conocimiento fundado en ella.

Al suspender esta tesis de la actitud natural, el "es" con que caracterizo todo lo que se me da, por ejemplo que la mesa es y que es redonda, reduzco (en el pleno sentido del "re-ducere" latino), reconduzco a su origen, refiero a mi conciencia todo el darse del mundo y de los objetos en él. Es decir, gracias a la "epoché" suspendo la tesis general, mediante la cual todo me aparece como siendo, para describir en actitud fenomenológica con base en qué motivos, con qué razón sostengo la tesis de que todo lo que se me da "es" de alguna manera².

Ahora puedo analizar mi vida de conciencia y describir las diversas formas de transcurrir en ella las vivencias. Estas son por sí mismas, por su esencia, "intencionales". Husserl acude aquí a su maestro Brentano y caracteriza la intencionalidad como aquella propiedad fundamental de la conciencia, anterior a

² Sobre la "reducción" en la fenomenología de Husserl ver las siguientes obras recientes: BERNET, R., KERN, I. u. MARBACH, E. 1989. Edmund Husserl. Darstellung seines Denkens. Meiner. Hamburg. HELD, K. (Hrsg.). 1985. Edmund Husserl. Die phänomenologische Methode. Ausgewählte Texte I. (Introducción, pp. 1-51); Phänomenologie der Lebenswelt. Ausgewählte Texte II. (Introducción, pp. 5-53). Reclam. Stuttgart. STRÖKER, E. 1987. Husserls transzendente Phänomenologie. Klostermann. Frankfurt, a.M.

la cual nos faltan los nombres, según la cual todo acto de conciencia es "conciencia de algo" y todo algo tiene su sentido en cuanto es para una conciencia: se da en ella en vivencias relacionadas entre sí y con el mundo exterior como experiencia interna.

Para analizar la vida de conciencia y la forma como se dan en las vivencias las "cosas mismas" propone Husserl como segundo paso la "reducción eidética". Esta consiste en fijar la atención del fenomenólogo en los rasgos esenciales (eide) de los objetos como dados a la conciencia y en las funciones de la conciencia, incluyendo la imaginación, en las que se dan dichas vivencias. La experiencia externa sólo me da en cada momento este lado de la mesa, este color verde, esta perspectiva determinada; y yo la percibo como mesa verde cuadrada y en tal sentido juzgo sobre ella y pretendo que mi juicio es verdadero por cuanto tengo evidencia de la mesa tal como se me da aquí y ahora ella misma. La imaginación me permite relacionar potencialmente mi perspectiva actual con otras posibles perspectivas de lo mismo, su lado contrario, las partes que no veo, etc., para llegar a un juicio objetivo, compartible por otros observadores.

La reducción eidética sirve a Husserl especialmente para dar razón de la formación de los conceptos y en general de todas las funciones categoriales. Se trata de mostrar cómo en la conciencia intencional se me pueden dar las cualidades de los objetos como independientes de su facticidad y cómo en la experiencia de ellos se me dan aquellas relaciones que trascienden los datos empíricos de la experiencia. Por ejemplo: en mi experiencia de "este tintero negro sobre la mesa verde", además de los objetos "tintero" y "mesa" y de las cualidades "negro" y "verde", se me da la relación "estar sobre". Esto es lo que lleva a Heidegger mismo todavía en 1973 a formular enfáticamente: "Para Husserl lo categorial (es decir, las formas de Kant) es también dado como lo es lo sensible. Por ello se da ciertamente INTUICION CATEGORIAL"³. Las categorías me son dadas en la experiencia lo mismo que los datos empíricos: éstos en intuición sensible, aquellas en intuición categorial. Este es el realismo radical de la fenomenología.

Esta intuición categorial, que puede ser explicada como formalización de la actividad intencional, más que como intuición de esencias, permite al fenomenólogo proponer la formación de conceptos y formas categoriales en general como el resultado de un proceso tipificante de ideación: éste consiste en la libre variación, gracias a la imaginación, de determinadas características, en cuyo límite posible se daría el concepto, por ejemplo de mesa, de cuadrado, de verde, de substancia, etc. Este mismo proceso de variación es posible con respecto a las funciones mismas de la conciencia. La fenomenología no sólo pretende describir el darse de los objetos en las vivencias, sino también las diversas formas del vivenciar algo, por ejemplo sentir, opinar, dudar, esperar, juzgar. Con base en dichas formas de vivenciar se formalizan conceptos como "sentido", "percepción", "duda", "opinión", "juicio". Este no es el momento para desarrollar la fecunda distinción que encuentra Husserl entre dos tipos de categorías: las de

³ HEIDEGGER, M. 1977. Vier Seminare. Vittorio Klostermann. Frankfurt a.M., p. 114.

significación (sujeto, predicado, categoría, verdad, etc.) y las de objetos (cosas, propiedades, relaciones entre objetos, etc.).

Pero dado que el darse de las cosas y de los actos de experiencia en el fluir de la conciencia requiere de cierta unidad, es necesario dar un tercer paso y referir la vida de conciencia a quien le da esa unidad en su devenir: es la reducción a un yo trascendental, último tema de la fenomenología. Para Kant trascendental era un conocimiento no tanto de los objetos, sino de cómo conocemos los objetos. Husserl piensa que con lo que le aporta la intencionalidad puede describir fenomenológicamente este proceso de conocimiento a partir de la experiencia cotidiana. En dicho proceso el yo trascendental se me da como el que constituye el sentido de toda experiencia y valida la pretensión de ser de lo dado en la experiencia. Por tanto, gracias a la unidad de la experiencia del yo trascendental los análisis fenomenológicos el campo de la conciencia inmanente. Esta trascendencia del yo es la que permite hablar de dos tareas: de la constitución de sentido (Sinnkonstitution) y a partir de ésta de la validación de ser y de realidad (Seinsgeltung), la cual para Husserl es el campo de una fenomenología de la razón. Gracias a esta distinción se puede trascender la lógica formal de las significaciones posibles, compatibles, hacia una lógica de la verdad, referida a la experiencia cotidiana.

Los análisis fenomenológicos llevan a Husserl en última instancia a considerar el yo trascendental en relación con el "mundo de la vida", con lo cual alcanza la mayor concreción posible. En el mundo de la vida yo ocupó un lugar en el espacio y en el tiempo, una perspectiva, en la cual se me dan las cosas en un horizonte determinado. La "reducción" fenomenológica me permite considerar la perspectividad de mi perspectiva de mundo e imaginar como posibles múltiples síntesis, las categoriales y las sensibles, a partir de mis perspectivas actuales, pasadas y futuras. El yo es conciencia de tiempo inmanente.

La pregunta ahora es hasta qué punto los caminos de la reducción, es decir, la suspensión de la actitud natural y la reducción a la vida de conciencia y a la subjetividad trascendental, terminan por encerrar al sujeto en sí mismo, en su campo de representaciones? ¿Es el inmanentismo de la fenomenología un "reduccionismo"? ¿Así se afirma que la intencionalidad es conciencia de algo, es posible diferenciar ese algo de un algo en la conciencia subjetiva? Mejor dicho: ¿es posible a partir de la descripción fenomenológica salirse de la conciencia personal? La descripción fenomenológica se hace con base en un modelo de percepción interna, de modo que la constitución de sentido y la validación de realidad nos llevan a la verdad por el camino de la evidencia y ésta tiene todas las ventajas de la certeza subjetiva, pero también todas sus limitaciones.

Por eso el así llamado "principio de todos los principios" reza: "toda intuición en que se da algo originariamente es un fundamento de derecho del conocimiento;... todo lo que se nos brinda originariamente (por decirlo así, en su realidad corpórea) en la 'intuición', hay que tomarlo simplemente como se da, pero también dentro de los límites en que se da"⁴. El mismo Husserl se

⁴ HUSSERL, E. 1949. op. cit., p. 58.

resiste a quedarse en el solipsismo, en el cartesianismo, es decir en el reduccionismo de la conciencia y de la reflexión subjetiva, en el diálogo del alma consigo misma. Pero ciertamente que así se hable de trascendencia, qué más puede lograr una trascendencia inmanente?

Si como lo plantea Husserl mismo la ciencia es asunto comunitario, entonces parece que el solipsismo, este protoreduccionismo, debe ser superado por una concepción del conocimiento y de la verdad en términos de intersubjetividad. Pero esta propuesta no puede ser desarrollada por una filosofía de la reflexión, para la cual el lenguaje es sólo expresión de la conciencia intencional, ya que toda constitución de la intersubjetividad a partir de mi yo trascendental idéntico conmigo mismo subdetermina al otro, haciéndolo a mi imagen y semejanza⁵. Según Husserl en el mundo de la vida el otro se constituye mediante la presentación, como si yo estuviera allí donde está el otro. El reduccionismo epistemológico, el monólogo tiene consecuencias éticas.

Hay que preguntar si el mundo como tema de la filosofía, puede ser reducido a ser correlato universal de una conciencia monológica, como la de la fenomenología. De hecho, la perspectividad del mundo, queda nivelada en el momento que las diversas perspectivas son sólo para una conciencia; el horizonte de sentido y de contextualización en el que se nutren las pretensiones de validez, queda reducido a una perspectiva absoluta en el momento que es el horizonte de un sujeto trascendental.

La comunicación que Husserl ahora como consecuencia del descubrimiento de la filosofía y al mismo tiempo como fundamento de la comunidad iniciada en la actitud filosófica, se hace imposible desde que se privilegie el yo de la reflexión para que en diálogo consigo mismo critique, clarifique y discierna las diversas perspectivas. Mejor dicho: el mundo de la vida abierto por la fenomenología queda de nuevo cerrado subjetiva-reflexivamente en toda filosofía de la conciencia monológica.

Recientemente, recogiendo varias tradiciones, Jürgen Habermas ha propuesto lo que él llama el "cambio de paradigma" para desarrollar el giro lingüístico en la filosofía⁶ y buscar la salida del solipsismo reduccionista de la subjetividad autoconsciente. El descubre la raíz del reduccionismo en el privilegio de un logos no verbal y universalista, de una ratio más contemplativa que comunicativa: "en ella se reduce cognitivamente la relación del hombre con el mundo: ontológicamente a un mundo del ser en su totalidad (como el conjunto de los objetos representables y de las situaciones dadas); epistemológicamente a la facultad de conocer situaciones existencias o de producirlas teleológicamente; y

⁵ HABERMAS, J. 1984. Vorstudien und Ergänzungen zur Theorie des kommunikativen Handelns. Suhrkamp. Frankfurt a.M., pp. 35-59.

⁶ Acerca del lenguaje en la fenomenología de Husserl ver la obra clásica de: DERRIDA, J. 1967. La voix et le phénomène. Introduction au problème du signe dans la phénoménologie des Husserl. PUF. Paris. Recientemente: SUKALE, M. 1988. Denken, Sprechen und Wissen. Mohr. Tübingen.

semánticamente a un discurso que constata hechos, en el cual se usan proposiciones asertóricas pero no se admite ninguna pretensión de validez a no ser la verdad proposicional disponible en el foro interno"⁷.

Este reduccionismo se supera en el giro lingüístico de acuerdo con lo ya formulado por Humboldt: "En la esencia originaria del lenguaje hay un dualismo inmodificable y la posibilidad de hablar está condicionada por un dirigirse a otro y recibir su respuesta. Ya el pensar está acompañado esencialmente por la inclinación hacia la existencia social y el hombre anhela... un tú que le corresponda al yo; el concepto sólo parece alcanzar su determinación y certeza gracias al reflejo desde otra facultad de pensar... La objetividad se presenta todavía más completa si esta separación no sólo se da en el sujeto mismo, sino más bien si el que se la representa mira verdaderamente el pensamiento fuera de sí, lo cual sólo es posible en otro ser que también se lo representa y piensa lo mismo. Pero entre facultad de pensar y facultad de pensar no hay otra mediación que el lenguaje"⁸.

Basado en esta tradición supera Habermas el reduccionismo propio de la razón monológica al analizar el mundo de la vida como horizonte de múltiples perspectivas, presentes en los actores en la comunicación con sentido acerca de sus experiencias cotidianas. Es decir: la perspectividad de las situaciones se hace real en los actos de habla, en los que cada quien desde su perspectiva pretende con sentido tener razón cuando afirma algo acerca del mundo objetivo, del mundo social o de la dimensión personal que se manifiesta en sus expresiones. Sin abandonar el mundo de la vida, es posible ponerse de acuerdo acerca de las razones que se dan para la verdad, la corrección y la veracidad de las proposiciones que dicen algo sobre la realidad.

Se hace por tanto necesario desarrollar la complementariedad originaria entre mundo de la vida y acción comunicativa en los siguientes pasos:

- 1) El mundo de la vida es horizonte universal de sentido y de contextualización de todas las perspectivas, ganadas gracias a la reducción fenomenológica trascendental. Referida al mundo la comunicación es apertura de cada perspectiva a la múltiples perspectivas diferentes de lo mismo. De suerte que si cada perspectiva tiene su sentido propio la comunicación es ante todo la invitación a que se expresen perspectivas diferentes, compatibles e inclusive aparentemente inconmensurables con la dada. El mundo de la vida tendría que poder relacionar en el horizonte de sentido lo inconmensurable. Esta comunicación de perspectivas sólo es posible en el reconocimiento del otro. De forma más general en el mundo de la vida se interrelacionan las diversas culturas, de modo que siendo diferentes, cada una de ellas es "cosmovisión", es comprensión necesaria del mundo, situada, histórica y

⁷ HABERMAS, J. 1985. *Der philosophische Diskurs der Moderne*. Suhrkamp. Frankfurt a.M., pp. 362-363 (Traducción española: *El discurso filosófico de la modernidad*. Taurus. Madrid. 1988).

⁸ HUMBOLDT, W. von. 1963. *Schriften zur Sprachphilosophie*. Werke, Bd. III. Wissenschaftliche Buchgesellschaft. Darmstadt, p. 138 s.

evidente, pero no es el mundo real; esta diferencia fundamenta la pregunta por la verdad⁹.

- 2) Efectivamente: si la reducción fenomenológica me prometía un primer principio, el de todos los principios, en la intuición, para ganar la verdad en la evidencia, ahora la comunicación parece exigir todo lo contrario: el reconocimiento de la verdad de cada perspectiva, el de una racionalidad para cada paradigma y para cada cultura: "todo vale" es la tesis holista que se desprende de un contextualismo radical. La reducción a un yo trascendental, pura espontaneidad y potencialidad me permite valorar cada perspectiva y cada cultura como relativa y comprender por qué desde la relatividad de la perspectiva se pretende intencionalmente la totalidad, la generalidad y la verdad. Husserl cree poder mostrar que la evidencia, antes que certeza subjetiva, es un darse las cosas mismas, gracias a lo cual "la conciencia tiene una estructura teleológica universal, una inclinación a la `razón` y aun una tendencia continua hacia ella; tiende en efecto a comprobar la corrección (...) y a suprimir las incorrecciones"¹⁰. Pero en la inmanencia de la conciencia no es posible distinguir entre representación del mundo y mundo real. Para ello es necesario una interrelación de perspectivas del mundo referidas al mundo de la vida, que entonces no es sólo horizonte universal de contexto, sino también fuente inagotable de validación de las pretensiones propuestas en la comunicación. Esta función del lenguaje que trasciende la pura comprensión del significado para referirse a un mundo común es la que permite hablar de una racionalidad comunicativa, la cual consiste en poder dar razones y motivos, argumentar desde la perspectiva propia para construir la verdad a partir de las pretensiones razonables desde cada perspectiva.
- 3) Los participantes en la comunicación se refieren a objetos, situaciones e interpretaciones en el mundo de la vida: como actores, ellos son las perspectivas reales que no sólo abren el mundo en su dimensión objetiva-cultural, sino también en la moral-social y en la estética-subjetiva. Los actos de habla no reducen todas las vivencias a "significados" observables, como le ocurre al observador desinteresado en sus análisis fenomenológicos, sino que pueden expresarse en su significación originaria como intenciones subjetivas en un contexto escénico, como normas vinculantes en un contexto de relaciones sociales y como constataciones de lo experimentado en un mundo objetivo. Puesto que cada participante tiene su perspectiva personal, es propio del diálogo el que cada uno pretenda tener razón, pero a la vez esté dispuesto a suspender, a poner entre paréntesis su pretensión, no para volver a su inmanencia, sino para que pueda ser contrastada con las demás perspectivas posibles. Es así como los diversos participantes en la

⁹ HUSSERL, E. 1981. "La filosofía en la crisis de la humanidad europea" en: *Filosofía como ciencia estricta*. Nova. Buenos Aires, p. 155.

¹⁰ HUSSERL, E. 1962. *Lógica formal y lógica trascendental*. UNAM. México, pp. 168-9.

comunicación, conscientes de la perspectividad de sus opiniones, pero sin renunciar a la competencia propositiva de las mismas, apuestan a la verdad objetiva, a la corrección normativa y a la veracidad expresiva de sus propuestas convencidos de sus razones; pero de igual manera están dispuestos a dejarse convencer, en este novedoso tipo de "epoché", por las mejores razones y argumentos.

- 4) De esta forma, la teleología de la razón subjetiva, tendiente a la evidencia, en esa inclinación a la razón que descubre la fenomenología, pasa ahora a dinamizar el proceso de entendimiento entre quienes participan en la comunicación. A la acción comunicativa le es inherente el telos de la comprensión¹¹ y al apostar a las mejores razones y argumentos se hacen posibles consensos falibles acerca de la realidad. Por ello interpretando la epistemología de Peirce puede concluir Habermas: "Designamos como científica a una información cuando, y sólo cuando, podemos alcanzar sobre su validez un consenso no-coactivo y permanente, que sin ser definitivo apunta, sin embargo, hacia dicha condición definitiva como su meta"¹².

Aquí el reduccionismo es superado en tres dimensiones: se parte de una descentración de la subjetividad, es decir, de una subjetividad plural, no en plural para un yo trascendental, sino de diferentes actores en la comunicación; estos actores usan el lenguaje no sólo para comprender significados, sino para relacionar estos con el mundo de la vida; y esta doble relación descentra el mundo, ya que el uso del lenguaje abre en él no sólo una región objetiva, sino también una de relaciones sociales y otra de experiencias subjetivas.

En este sentido la fenomenología y sus reducciones sería el esfuerzo de salvar los fenómenos, al mostrar la génesis de la experiencia y del conocimiento en la multiplicidad de vivencias subjetivas: la deconstrucción crítica está lograda. Pero la reconstrucción, la "constitución" como la llama Husserl, no puede ser emprendida desde una conciencia solitaria. Si ello se hace se consolida un inmanentismo reduccionista, al pretender constituir en la vida de conciencia tanto el sentido de los objetos y de los otros sujetos como la realidad de su existencia.

La propuesta de una racionalidad comunicativa es partir de la perspectividad de cada quien, pero relacionar las diversas perspectivas comunicativamente: tanto a nivel de la comprensión de los significados y su contextualización en un horizonte de horizontes, como con respecto a la validez de las pretensiones de verdad, corrección y veracidad. La propuesta es por tanto una fenomenología genética en la reflexión y un procedimiento comunicativo en la constitución del conocimiento.

¹¹ HABERMAS, J. 1986. "Entgegnung" en: HONNETH, A. u. JOAS, H. Kommunikatives Handeln. Suhrkamp. Frankfurt a.M., p. 333.

¹² HABERMAS, J. 1982. Conocimiento e interés. Taurus. Madrid, p. 97.

Ni holismo. ni reduccionismo: azar y necesidad

Alvaro Cadena M.

RESUMEN

Se propone un modelo de cambio para los sistemas abiertos, a partir del cual se aborda la discusión holismo o reduccionismo. En el modelo, se relaciona al sistema abierto con su entorno por medio de una complementariedad en sus complejidades o estructuras: ese entorno (llamado universo "real"), selecciona a las variantes estructurales del sistema que se le adaptan complementariamente. El sistema cambia complejizándose o descomplejizándose. En ciertos períodos, el proceso se invierte y el sistema crea y selecciona un nuevo universo. Emergen así, un nuevo sistema y un nuevo universo. La relación sistema - universo "real" sería de azar y necesidad. Se sugiere que la relación parte - todo es también de complementariedad estructural, es decir, de azar y necesidad; lo cual conduciría a que a partir de la parte no se podría deducir el todo, ni lo contrario.

ABSTRACT

This article presents a model of change for open systems which introduces the discussion of holism or reductionism. In this model, the open system is complementarily related to its environment in its complexities or structures: this environment (which is called a "real" universe), selects the structural variants of the systems which complementarily adapt to it. The systems changes, became more or less complex. In certain periods, the process is inverted and the systems creates and selects a new universe. In this manner, a new system and a new universe emerge. The relationship system - "real" universe, would be one of hazard and necessity. It is suggested that the relationship part - whole also is structurally complementary, in others words, it is of hazard and necessity; this would imply that the whole can not be thus deduced from a part, nor a part deduced from the whole.

Voy a referirme al problema del cambio. La pregunta será la siguiente ¿cómo cambian los seres? Es una pregunta que ha tomado diferentes presentaciones a lo largo de la historia. En la filosofía clásica se presentó como el problema del ser y del no ser. Hegel, más recientemente, trató de ofrecer una filosofía para el devenir. Marx se refirió al cambio económico y social. La Termodinámica entró a definir el cambio en los sistemas cerrados. Darwin estudió el cambio en las especies. La Psicología estudió el cambio como aprendizaje, etc. Podríamos ahora preguntarnos: ¿todos estos sistemas tienen patrones de cambio semejantes? El mejor punto de partida para responder a este interrogante sería hablar de cambio en un sistema abstracto cualquiera. Se podría, en general, hablar del cambio de un sistema abierto (el sistema cerrado puede considerarse un caso límite del sistema abierto, en la medida en que puede obtenerse a partir del segundo igualando las variables de transporte a cero; Bertalanffy, L. von, 1984)

Cuando se va a hablar de un sistema abierto, es necesario de inmediato, referirse a todos aquellos elementos del entorno con los cuales él estaría en capacidad de interactuar. A todo ese conjunto de elementos se los podría agrupar bajo un nombre: universo posible admitido por el sistema abierto. Propongo, de manera heurística, que el sistema abierto y su universo posible son complementarios; lo cual se representa en la figura No 1. El grado de complejidad del sistema abierto sería complementario al grado de complejidad de su universo posible.

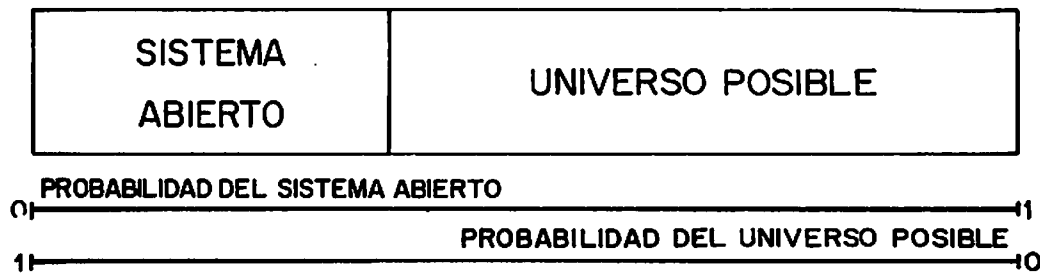


Figura No. 1 Relación complementaria sistema abierto - universo posible

Intuitivamente se piensa que un sistema es complejo cuando es rico en componentes diversos. Con esta perspectiva, R. Margalef y J. Wagensberg sugieren que es posible medir la complejidad de un sistema por medio del teorema de C. E. Shannon para la información o entropía ($I = - \sum_{i=1}^n P_i \text{Log}_2 P_i$). Shannon dice que la información que una fuente sin ruido puede generar, es la cantidad de incertidumbre que se elimina, en promedio, al elegir una de las distintas alternativas de la fuente.

Como $I = - \sum_{i=1}^n P_i \text{Log}_2 P_i$ (en donde P_i es la probabilidad de que uno de los N elementos que puede generar la fuente pertenezca a una de las clases o alternativas i posibles, conteniendo tal clase N_i elementos), entonces, la información será igual a cero cuando todos los elementos pertenezcan a una misma clase, e igual al logaritmo (preferiblemente en base dos, como se ha indicado hasta ahora, aunque podría ser cualquier otra base mayor que 1) del número de clases o alternativas n cuando todos los elementos pertenezcan a clases diferentes. Es decir, a mayor n (a mayor riqueza en componentes diversos), mayor información. Así y en principio, la complejidad de un sistema podría ser medida por medio de la información de Shannon. Ahora bien, siendo estrictos, Shannon habla de la incertidumbre promedio que se elimina al elegir una de las alternativas. Por tanto, al tener el sistema distintas clases (las distintas especies en un ecosistema, o los diferentes tipos celulares, por ejemplo), habría que multiplicar tal promedio por el número n de clases del sistema.

El lector atento podrá haber percibido un problema aquí: si se tienen todas las clases posibles que puedan darse en el sistema (todos los tipos celulares posibles de un organismo, o todas las especies posibles de un ecosistema, por ejemplo), la información (y con ella la complejidad del sistema) sería igual a cero. Pero si se tiene en cuenta el fenómeno de la reproducción (o cualquier fenómeno de redundancia, de la cual la reproducción es un caso particular), desaparecerá el escollo. En el desarrollo ontogenético y durante la diferenciación, por ejemplo, una célula indiferenciada se divide y da origen a dos células que se especializarán. Estas últimas células serán las alternativas a elegir en ese punto de bifurcación. Se desemboca en las dos alternativas, pero a partir de dos células: en una célula se toma un camino, y en la otra el otro. En un caso se elige una alternativa y en el otro la otra. Por ello la complejidad, en bits, del sistema, será (en lugar de un bit, según Margalef): $C = 2 I = -2(1/2 \text{Log}_2 1/2 + 1/2 \text{Log}_2 1/2) = 2 \text{ bits}$.

Medida la complejidad por medio del producto de la información por el número de clases del sistema, podemos volver a la idea de la complementariedad. Para ello continuaremos con nuestro ejemplo del desarrollo de los organismos. En la figura No 2 se presenta un caso hipotético en el cual, a partir de un tipo celular indiferenciado por mitosis sucesivas, se da paso a cuatro tipos celulares finales diferenciados, cada uno con su respectiva probabilidad frecuencial o poblacional. Por mitosis, del tipo inicial se da origen a dos tipos de células hijas con una frecuencia poblacional respectiva de 2/3 y 1/3. Luego, cada uno de estos dos tipos se divide y da origen a otros dos nuevos tipos celulares, cada uno con su respectiva probabilidad poblacional. La propuesta es que en cada bifurcación de estas, los elementos de la bifurcación desarrollarán complejidades complementarias. El elemento de partida (en el ejemplo, las células progenitoras) tendrá una complejidad determinable a partir de las clases en que pueda ser "partido". Los elementos de la bifurcación se "repartirán" complementariamente esa complejidad. En el crecimiento de los dos tipos celulares que surgen en cada bifurcación reproductiva, un tipo tomará por una vía de desarrollo, y el otro por la vía de desarrollo complementaria. Las alternativas características que se tomen en una de las dos vías, serán las alternativas dejadas de lado por la otra vía. En este caso, hemos "parti-

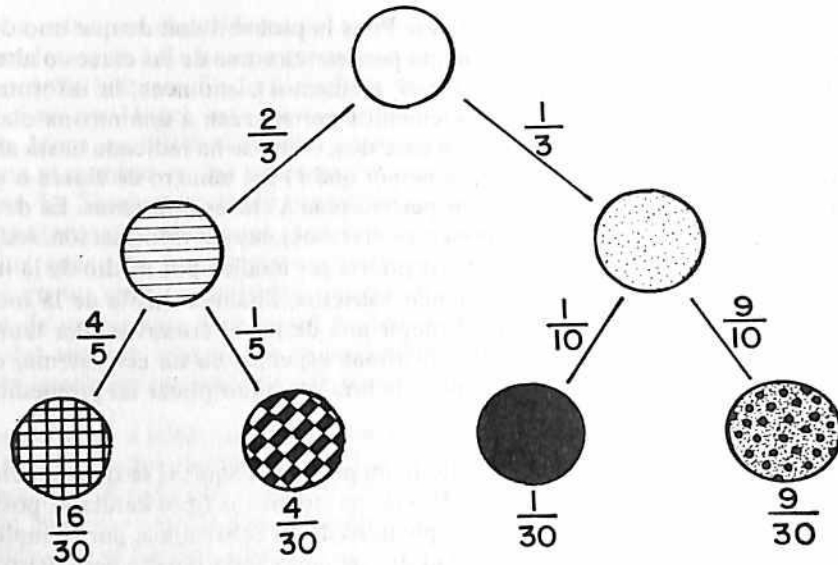


Figura No. 2 Reproducción, bifurcación, diferenciación complementaria.

do" a las células en clases de componentes. Algunos serán característicos de un tipo celular, otros serán característicos del otro tipo (por supuesto, tendrán componentes semejantes; la complementariedad se verifica en cierto nivel de resolución; en otro nivel no podrá haber complementariedad: por ejemplo, ambos tipos celulares serán seres vivos, y como tales deberán tener todos los componentes necesarios para tal efecto).

La relación complementaria entre los elementos de la bifurcación, puede ser interpretada como un feed back negativo: las alternativas tomadas por uno de los dos eslabones del bucle de realimentación, serán las alternativas abandonadas por el otro eslabón. Así, la complejidad de un sistema residirá en que las clases en que pueda ser "partido", sean complementarias, es decir, interactúen por medio de un feed back negativo. Allí donde haya asimetrías internas (clases complementarias relacionadas por un feed back negativo), habrá complejidad o, acudiendo a otro término, habrá estructura. Según esto, la estructura de los sistemas complejos residirá en los feed backs negativos interiores: un sistema será más complejo o estructurado entre más feed backs negativos interiores posea. Se volverá más adelante sobre esto mismo.

Una de las características de los sistemas complejos es su baja frecuencia poblacional, en tanto que los sistemas poco complejos se caracterizan por su alta frecuencia poblacional (llamada por Wagensberg "profusión de lo pequeño"). De esta manera, la probabilidad (en el sentido frecuencial mencionado) de un sistema, sería un indicativo bastante seguro de su complejidad o grado de estructuración: sistemas probables serán poco complejos, y sistemas poco probables serán complejos.

Según se desprende de la figura No 2, sistemas con complejidades complementarias, tienen al mismo tiempo probabilidades complementarias. Por esto, y por el principio de "profusión de lo pequeño", no se daría un paso en falso si se representa a la complejidad relacionándose inversamente con la probabilidad frecuencial. Por ello es que se representa a la complementariedad estructural o de complejidad (en el sentido establecido) entre el sistema y su universo en la figura No 1, mediante la complementariedad de sus probabilidades.

La complementariedad entre el sistema y su universo tendría todas las características mencionadas para los elementos de un sistema; al fin y al cabo, el sistema es un elemento del macrosistema en el cual está inmerso. Se trata de sistemas dentro de sistemas: el sistema y su universo forman complementariamente un macrosistema. En el ejemplo de la figura No 1, el sistema sería más complejo o estructurado que su universo posible (pudiendo presentarse el caso contrario), y además, según la heurística propuesta, tendrían estructuras complementarias. Pueden presentarse varios ejemplos de esta relación complementaria. En una teoría del conocimiento tendríamos el sistema de conocimiento (sistema) y su objeto de conocimiento (universo posible); en la lingüística serían complementarios el concepto (sistema) y el referente (universo posible); en la biología habría una complementariedad entre la población específica (sistema) y su "nicho ecológico" (universo posible); en la inmunología serían complementarios el antígeno (sistema) y el anticuerpo (universo posible), etc.

Cuando Darwin pensaba en la diversidad de tipos de pinzón de las Galápagos, sugirió que tal diversidad se debía a la adaptación de los pinzones a formas complementarias de vida (los términos son de Darwin), es decir, adaptación a lo que hoy se podría llamar el nicho ecológico. Decía Darwin en su cuaderno de notas: existe una fuerza que obliga a todo tipo de estructura a penetrar en los huecos que deja la economía de la naturaleza (Huxley, J., y Kettlewell, H. D. B., 1984). Darwin intuía que la especie y su nicho eran algo así como estructuras complementarias. Más recientemente, K. Lorenz sugirió que la adaptación de los organismos al medio ambiente era un proceso de conocimiento, por el cual surge en el organismo una representación o imagen del mundo externo real. Esa imagen sería un negativo de la realidad (Lorenz, K., 1980). En esta idea de Lorenz, vuelve a aparecer la noción de complementariedad (ser el negativo es ser el complemento) entre el organismo y su nicho, y aun se sugiere adicionalmente -al presentarse al proceso de adaptación como una forma de conocimiento-, que existe una relación complementaria entre el sistema de conocimiento y su objeto de cognición. No me referiré a los demás ejemplos porque ellos pueden derivarse fácilmente de los dos anteriores (la adaptación y el conocimiento), o porque en ellos la complementariedad es casi evidente.

En este punto valdría la pena distinguir entre lo que he llamado universo posible (o universo esperado) de ese otro al cual podríamos llamar universo "real" (o universo encontrado). Con quien interactúa el sistema es con su universo "real", y esa interacción toma la forma de un intercambio asimétrico de información, y se verifica a través de alguna forma de energía y/o materia. Es precisamente en este intercambio asimétrico, en donde debe buscarse el cambio

del sistema: un sistema cambia al cambiar su estructura, es decir complejizándose o descomplejizándose. Las transformaciones isoestructurales (aquellas que no afectan a la estructura), sólo podrán ser consideradas como cambio a otro nivel de resolución en la observación. Cambio de un sistema, para nosotros, será variación de su estructura.

La complejización del sistema se presenta, según se desprende de lo dicho, como un aumento de información en él; y como captar información implica elegir, entonces, cuando en el sistema se eligen algunas de las posibles relaciones entre sus elementos constituyentes a costa de otras, se gana información. En otros términos, un sistema se complejiza por medio de la selección de ciertas posibilidades estructurales -con la cual se hace más improbable. Por su parte, la descomplejización de los sistemas implica la vía contraria: la anulación de una selección anterior -con la cual, se hacen más probables, menos complejos, menos ordenados. En síntesis, seleccionar posibles interacciones a costa de otras (toda selección implica ganancia y pérdida) es complejizar; y anular una selección de interacciones anterior es descomplejizar. Estos dos casos se representan por medio de la figura 3.

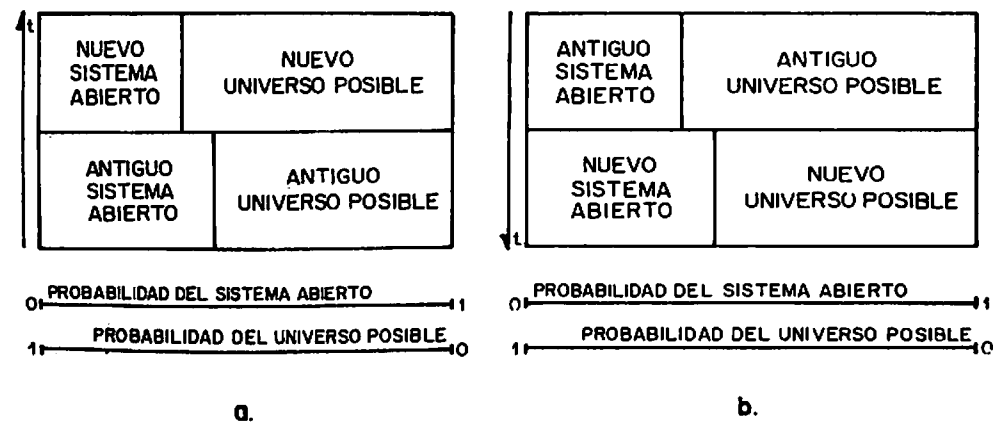


Figura No. 3 Complejización (a) y descomplejización (b) del sistema abierto.

En la figura 3, se sugiere que el universo posible del sistema complejo es mucho más amplio que el del menos complejo; eso hace al sistema complejo, en promedio, más estable (lo cual no significa invulnerable): prevé más alternativas en su entorno. Sólo en el caso de la complejización del sistema abierto tiene sentido la intuición de Hegel, Marx, E. Haeckel, N. Hartmann, K. Lorenz y F. Jacob, entre otros, según la cual, el último estadio evolutivo contiene las posibilidades del anterior y otras nuevas. Pero no es el nuevo sistema el que contiene las antiguas y nuevas posibilidades (que es como piensan ellos y como fácilmente se caería en una contradicción); es el universo posible del sistema complejo el que contiene las posibilidades del universo del sistema poco complejo y otras nuevas. Y aún así, no se trata de las y otras nuevas posibilidades; se trata de tantas y otras más, lo cual es muy distinto.

Ejemplos de complejización serían, el paso de la física de Newton a la de Einstein, y el de una sucesión ecológica. La física de Einstein, como construcción teórica, como estructura teórica, como conjunto de conceptos interactuantes, es más compleja que la de Newton; y además de explicar casi todo lo que explica Newton -algunos problemas newtonianos dejan de ser problemas para Einstein-, prevé otras muchas posibilidades que no prevé Newton. Lo mismo ocurre con la sucesión ecológica. En ésta, como lo dice su nombre, lo que se tiene es una sucesión de organismos en un espacio y en un tiempo particulares. Al principio, en un terreno baldío (un terreno rocoso, por ejemplo), llegan unos organismos relativamente poco complejos, como los líquenes. Según lo propuesto, su universo posible debería ser relativamente estrecho. Después de que los líquenes realizan ciertas transformaciones en el substrato, llegan otros organismos más complejos: los musgos. De acuerdo a la heurística propuesta, el universo posible de los musgos debería ser más amplio que el de los líquenes. Los musgos deberían estar preparados para enfrentar mayores fluctuaciones ambientales que los líquenes. Y eso es precisamente lo que sucede: los musgos resisten mayores fluctuaciones del entorno que los líquenes; y cuando ellas se presentan, los sacan de la competencia. Lo que para los líquenes es una fluctuación no prevista, es lo que para Newton representa aquel rayo de luz desviándose cerca de grandes masas gravitacionales o la dilatación del tiempo. De todas formas, no es que el musgo extinga definitivamente al líquen, sólo lo saca de la competencia en un contexto específico. El líquen seguirá siendo viable en otros contextos. De igual manera, no es que Einstein haya "refutado" definitivamente a Newton -como piensan ingenuamente algunos-, Newton sigue siendo válido en ciertos contextos.

En resumen, el sistema complejo prevé más alternativas en su universo, y por ello se hace, en general, más estable que el no complejo. Si bien es cierto lo anterior, ello no quiere decir que los sistemas se dirijan hacia su complejización o "perfección", como pensaban Hegel, Marx y Lamarck. El cambio en los sistemas no se dirige hacia la Razón Absoluta, o hacia el comunismo, o hacia la perfección. El cambio en los sistemas no tiene dirección. A veces se complejizan, otras se descomplejizan, según las necesidades impuestas por su universo "real".

La relación entre el sistema y su universo posible es un poco más complicada de lo que se ha visto hasta ahora. Una representación más precisa de tal relación sería la que se presenta en la figura No 4. Al lado izquierdo de la figura se representa el tiempo, y el cambio del sistema se muestra a lo largo de una serie sucesiva de etapas. Lo que quiero sugerir es que al principio (aquí se ofrece un caso de complejización, pero hubiese podido ser una descomplejización), el sistema sufre unas complejizaciones rápidas; Luego, el ritmo de complejización va disminuyendo cada vez más, hasta que llega un punto en el cual la complejidad del sistema prácticamente no sufre mayor variación. Según se desprende de la figura, el cambio básico en los sistemas abiertos podría ubicarse en períodos de tiempo relativamente cortos. Durante la mayor parte del tiempo, los sistemas se encontrarían en un estado cuasiestable; su estructura básica sería relativamente estable la mayor parte del tiempo.

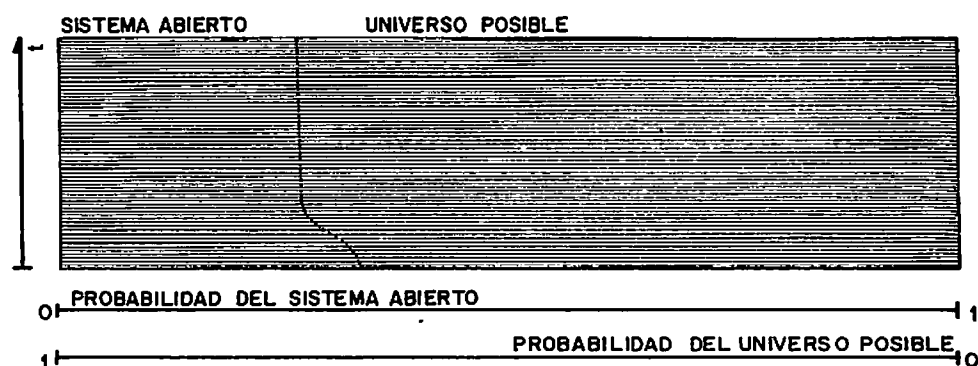


Figura No. 4 Relación complementaria sistema abierto - universo posible.

RELACION SELECTIVA SISTEMA - UNIVERSO "REAL"

El cambio estructural del sistema -y con él el cambio complementario de su universo posible- se relaciona con su universo "real" selectivamente; es decir, el universo "real" selecciona -a la manera darwiniana- las variantes estructurales del sistema que se le adaptan complementariamente. Al principio, el sistema cambia rápidamente. Al variar su estructura, cambiará complementariamente la estructura de su universo posible. Así, en esta relación selectiva entre el sistema y su universo "real", lo que está sucediendo es que la estructura del universo posible va coincidiendo cada vez mejor con la del universo "real", hasta que finalmente la estructura del sistema se hace complementaria a la del universo "real". Lo esperado va coincidiendo con lo observado. En un principio, las estructuras del sistema y del universo "real" no son complementarias; ello hace que en estos momentos (si es que el sistema presenta suficientes posibilidades estructurales sobre las cuales se pueda ejercer alguna presión selectiva: sólo puede haber selección allí donde existan variantes estructurales) el universo "real" presione selectivamente al sistema: seleccionará aquellas variantes del sistema que se le vayan adaptando complementariamente cada vez mejor. De esta manera, el sistema se adapta a su universo "real".

Ejemplos de lo anterior serían la selección darwiniana, el acoplamiento de una teoría a su objeto de estudio, la selección clónica en la reacción inmunológica antígeno-anticuerpo y la percepción de los objetos, entre otros (figura No 5).

Las instancias de la derecha de la figura 5 (universo, nicho ecológico, etc.), no producen causalmente los cambios estructurales adaptativos en las instancias de la izquierda de la misma figura (sistema abierto, población específica, etc.). El antígeno no produce causalmente el anticuerpo que se le adapta complementariamente. El objeto de percepción no produce causalmente su imagen. Las instancias de la derecha, SELECCIONAN aquellas variantes estructurales de

las instancias de la izquierda que se le adaptan complementariamente. El antígeno selecciona al anticuerpo que se le adapta complementariamente (la reacción antígeno-anticuerpo es un poco más complicada, pero la complementariedad se mantiene perfectamente; lo que sucede es que no podemos entrar en detalles especializados, so pena de distraer nuestra atención); el objeto de percepción, selecciona la imagen que se le adapta complementariamente, etc.

SISTEMA ABIERTO	UNIVERSO "REAL"
POBLACION ESPECIFICA	NICHO ECOLOGICO
VARIANTES TEORICAS	OBJETO DE CONOCIMIENTO
ANTICUERPO	ANTIGENO
IMAGEN	OBJETO DE PERCEPCION

Figura No. 5 Relación selectiva entre instancias complementarias.

No puede considerarse a las instancias de la columna derecha como la causa de los cambios estructurales complementarios (o adaptativos: la adaptación darwiniana toma aquí la forma de complementariedad estructural) de las instancias de la izquierda. Esto nos obligaría a poner en tela de juicio aquella noción de causalidad según la cual, existe un vínculo entre una causa y un efecto, de tal manera que la causa sería aquello a partir de lo cual se produce un efecto. Detrás de la relación causa-efecto hay una relación selectiva. La causa no produce el efecto; en eso tenía razón Hume. La causa, diría yo, selecciona al efecto; y por esto es que aparecen una y otra como inseparables, aunque en realidad no lo son: una misma causa (un universo "real" específico, por ejemplo) puede estar asociada a distintos efectos (los diferentes sistemas con la misma estructura), y un mismo efecto puede estar asociado a distintas causas (los diferentes universos "real" con la misma estructura, en este caso). Causas similares pueden producir efectos diferentes, y efectos similares pueden ser producidos por causas totalmente diferentes.

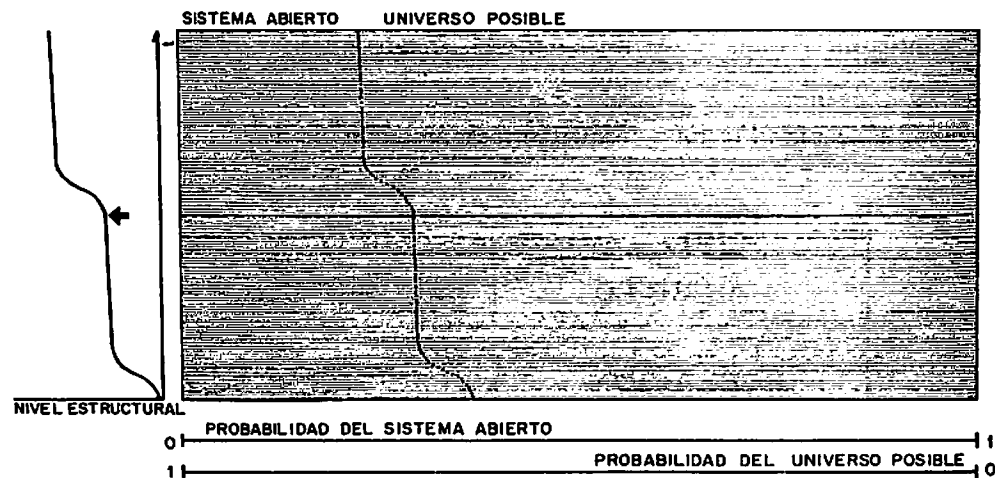


Figura No. 6 Paso de un período de selección normal a otro de selección normal por medio de una selección invertida.

SELECCION NORMAL Y SELECCION INVERTIDA

Hasta ahora he propuesto una vía de cambio que bien podría denominarse "realista": el sistema se adapta a su universo, las teorías se adaptan a su objeto de estudio, las especies se adaptan a sus nichos, etc. Aquí es el universo el que selecciona las variantes del sistema abierto que se le adaptan complementariamente. En estos períodos se adelanta un proceso selectivo de tipo darwiniano. La iniciativa selectiva correrá por cuenta del universo. Dado que este tipo de selección es el que todos conocemos normalmente como selección, entonces podríamos llamar a esta fase, período de selección normal. En los períodos de selección normal, entonces, los sistemas se adaptarán a sus universos. A pesar de que lo anterior es cierto, creo que es insuficiente para abarcar todo el proceso de cambio de los sistemas. Por ello pienso que es necesario complementar la anterior vía con otra que pudiera llamarse "idealista". Habría ciertos períodos en los cuales la iniciativa pasaría del universo a los sistemas. Ahora la dirección selectiva será contraria; ahora la iniciativa selectiva la tendrían los sistemas. En estos períodos -que yo llamaría de selección invertida-, los sistemas abiertos crean, configuran, delimitan, seleccionan y sustituyen a sus universos.

En la medida en que los sistemas hacen que los elementos del entorno interactúen como un todo con ellos, en esa medida, los sistemas abiertos -como diría Kant- crean su universo. Esos elementos, antes aislados entre sí, pasan a interactuar unificadamente con el sistema. Aún así, habría que decir que los elementos como tales, como unidades fundamentales, sólo serían elementos para

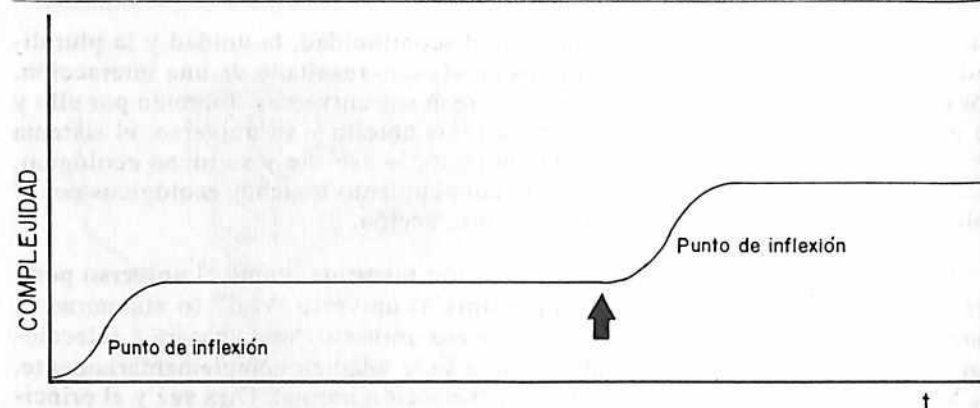
este sistema abierto. La continuidad y la discontinuidad, la unidad y la pluralidad no son la manifestación de objetos en sí, sino resultado de una interacción. Por esto, podría decirse que los sistemas crean sus universos. También por ello y en esa medida, serían inseparables el sistema abierto y su universo, el sistema de conocimiento y su objeto de conocimiento, la especie y su nicho ecológico, etc. No existirían universos, objetos de conocimiento o nichos ecológicos por sí solos. No existen objetos en sí, sólo en interacción.

Una vez que se ha presentado la selección invertida, y que el universo posible (o esperado) mal que bien se aproxima al universo "real" (o encontrado), entonces el proceso vuelve a invertirse, y ese universo "real" pasará a seleccionar a las variantes del sistema abierto que se le adaptan complementariamente. Se habrá entrado en un nuevo período de selección normal. Otra vez y al principio, el cambio estructural será rápido; luego será cada vez más lento, según lo represento en la figura No 6. La figura es otra vez un caso de complejización, pero igualmente hubiese podido ser una descomplejización. Al final, emerge un nuevo sistema adaptado complementariamente a un nuevo universo "real".

FEED BACKS NEGATIVOS: ESTRUCTURACION Y EMERGENCIA

Al lado de la figura 6 he agregado una gráfica en la que pretendo representar el cambio estructural del sistema. En cada una de estas dos curvas sigmoideas (estas dos curvas están ampliadas en la gráfica No 1 y están separadas por la flechita que indica el momento de la selección invertida) tenemos dos partes: la primera es la que está antes, y la segunda es la que se encuentra después del punto de inflexión. Antes del punto de inflexión hay una curva de tipo exponencial, que revela el predominio de un feed back positivo entre los elementos constituyentes del sistema. Luego hay una curva cóncava hacia abajo que revela el predominio del feed back negativo entre los mismos elementos. Aunque no lo explicaré, y aunque suene contradictorio, el feed back positivo podría ser considerado una interacción entre elementos independientes, en tanto que el feed back negativo sería una interacción entre elementos dependientes, es decir, es una interacción de dependencia. Pienso que es en los feed backs negativos en donde debemos buscar la estructura del sistema (sólo se puede hablar de sistema allí donde predomina la dependencia entre los elementos constituyentes; si los elementos son independientes, difícilmente podría hablarse de sistema). Si esto es así, entonces estaríamos en capacidad de afirmar que el sistema se estructura si en su interior se forman feed backs negativos, como se había sugerido más arriba.

Con la selección invertida, el sistema se asocia complementariamente a un nuevo universo "real". Ciertamente que el sistema cambia rápidamente "para" asociarse a su universo "real", pero en todo caso, esta asociación es repentina. Es como si súbitamente encajaran dos instancias (o dos eventos) independientes; es como si dos instancias hasta ese momento independientes, pasaran a ser de un momento a otro dependientes: por un lado, el sistema selecciona su univer-



Gráfica No. 1 Formación de un nuevo sistema abierto a partir de uno antiguo por medio de una selección invertida (flechita de la gráfica).

so, y por el otro, el universo selecciona a las variantes complementarias del sistema. Es el paso de la independencia a la dependencia. La selección invertida, entonces, conduce a la formación de un feed back negativo externo: un feed back negativo entre el sistema y el universo "real". Así, y por medio de la selección invertida, surgen tanto un sistema, como un universo "real" nuevos.

En resumen, la formación de feed backs negativos internos conduce a la estructuración del sistema, en tanto que la formación de un feed back negativo externo conduce a la emergencia de un nuevo sistema. Al cambiar las relaciones (feed backs negativos) externas, emerge un nuevo sistema. Es en la formación de feed backs negativos externos en donde debe buscarse la emergencia de propiedades de los sistemas. El proceso sería más o menos de la siguiente forma: el sistema cambia sus relaciones externas, es decir, se da paso a un nuevo feed back negativo entre el sistema y el nuevo universo "real". Este feed back negativo sería en realidad una relación selectiva, por medio de la cual, el sistema se adaptaría al nuevo universo "real"; la selección darwiniana sería, según esto, un caso particular de realimentación negativa, gracias a la cual el sistema se adaptaría a su universo "real". Y ¿en qué consistiría ese feed back negativo o relación selectiva? En la selección de un nuevo conjunto de relaciones internas en el sistema: se seleccionarían los cambios estructurales o cambios de relaciones internos complementarios, los cuales a la larga, conducirán a un nuevo sistema. Se cambian las relaciones externas, y ese cambio conduce a la selección de un nuevo conjunto de relaciones internas en el sistema.

¿Cuánta razón tenía el iluminado Marx al centrar su atención en las relaciones de producción, y sostener que aparece una nueva formación social con el cambio de tales relaciones? El desarrollo de las fuerzas productivas conduce a una nueva relación entre el sistema social y su "entorno", y esta nueva relación desencadena un cambio en las relaciones de producción. Era un verdadero genio. Lamentablemente su vocación política, el ser discípulo de Hegel y su época, lo condujeron a colocarle una dirección al cambio social (sin embargo no

podemos "culpar" petulante y retrospectivamente a Marx, pues ¿quién puede sustraerse a su historia y a su época? Y ¿qué teoría no nace preñada de sueños? En la base de toda teoría se esconde subrepticamente el deseo y la fe de todo investigador). El sistema social se debía dirigir hacia su añorado sueño político: el comunismo. Quince años después de que Marx construyera los pilares fundamentales de su teoría, Darwin mostraría en "El origen de las especies" que el cambio en los organismos no tiene dirección alguna (haciendo honor a la verdad, la idea de la selección surgió en la mente de Darwin unos siete años antes de que en Marx apareciera su teoría social).

Si miramos ahora dos de las pequeñísimas, sucesivas y contiguas etapas de cambio (prácticamente) continuo de la figura No 4 (aquellas etapas en las que la estructura del sistema prácticamente no cambia mayor cosa), y si "apretamos el micrométrico", veremos surgir ante nosotros algo semejante a lo que se mostró en la figura No 6. Y lo contrario, si me "alejo" lo suficiente de la figura No 6, veré algo semejante a las dos sucesivas y contiguas etapas de cambio continuo de la figura No 4. Es decir, lo que desde un nivel de referencia aparece como un "simple" cambio continuo del sistema, desde otro referencial se presentará como la emergencia de un nuevo sistema. Lo que a un nivel de referencia se presenta como cambio continuo, desde otro aparece como cambio discontinuo. Nada es en sí mismo continuo o discontinuo; nada es en sí mismo estructuración o emergencia. Dependiendo del nivel de referencia o de resolución con el cual se observe, será lo uno o lo otro.

Otra forma de decir lo anterior sería la siguiente: si tengo algo definido como mi sistema (éste será mi primer referencial), entonces la formación de feed backs negativos internos conducirá a la estructuración (o cambio continuo) del sistema. Si cambio de referencial y tomo ahora como referencial a los elementos del sistema, es decir si "aprieto el micrométrico", entonces, a este nivel, la formación de feed backs negativos entre los elementos (que en este nuevo referencial se presentarán como sistemas), aparecerá como la emergencia de un nuevo elemento (o sistema en el nuevo referencial). Por otro lado, si paso a considerar a mi primer sistema como un elemento más del macro-sistema en el cual se encuentra incluido, es decir, si me "alejo" del sistema, si cambio de referencial, entonces veré que aquello que desde el primer referencial se presentaba como emergencia (la formación del feed back negativo externo del sistema), desde el segundo se presentará como una estructuración (la formación de feed backs negativos internos del macro-sistema). De nuevo, lo que desde un primer referencial aparece como un cambio continuo, desde un segundo puede aparecer como una transformación discontinua, y viceversa.

Lo dicho hasta aquí implicaría una propuesta profundamente jerárquica: los sistemas se estructurarían jerárquicamente. Además de ello, la relación entre niveles jerárquicos contiguos debería ser de azar y necesidad: el nivel inferior (o menos ordenado) seleccionará las variantes estructurales del superior (o más ordenado) que se le adapten complementariamente. Y a su vez, el nivel superior

configurará al inferior por medio de la selección invertida. En esa frontera jerárquica de niveles debería buscarse un feed back negativo; y la presencia de éste indicaría que el sistema jerarquizado tendría algún grado de orden. Es decir, los sistemas ordenados deberían tener una disposición jerárquica (presentarían feed backs negativos internos), en tanto que los sistemas (si así se los pudiera llamar) desordenados no deberían tener disposición jerárquica alguna. De esta manera, orden, jerarquía, estructura y complejidad podrían ser utilizados, en este contexto, como sinónimos. Además de lo anterior, también se estaría diciendo que se presentarían fenómenos selectivos en toda frontera jerárquica, es decir, no habría una unidad fundamental de selección, por el contrario, la selección operaría en la interfase de cualesquiera niveles de una estructura jerárquica.

La mencionada emergencia de propiedades, consistiría en el acoplamiento complementario de instancias independientes; dos lazos sueltos se unirían en un bucle de realimentación negativa. Es la selección invertida; es el chispazo creativo que irrumpe y rompe con lo establecido; es el surgimiento de una nueva especie; es el surgimiento de una nueva teoría; es la aparición de un nuevo anticuerpo; es aprendizaje, es asociación. Es el destello que se siente y se ve acompañado de un aumento en el palpitar del corazón. Algo así le sucedió a Darwin cuando buscaba afanosamente entender cómo era que se diversificaban los organismos. Iba en su carruaje en un paseo de descanso, cuando inesperadamente surgió la luz: "Puedo recordar el punto exacto del camino ... en el que para mi regocijo se me ocurrió la solución ... La solución, creo, es que la descendencia modificada ... tiende a adaptarse a muchos lugares altamente diversificados en la economía de la naturaleza" (Darwin, Ch., citado en Ayala, F., y otros, 1980). En la cabeza de Darwin se formó un feed back negativo entre su idea y el problema que estudiaba. Curiosamente, el problema se refería a la formación del feed back negativo entre la especie y su nicho.

Podríamos preguntarnos ahora lo siguiente ¿cómo es que se originan el nuevo sistema abierto y su universo posible? Es decir ¿cuál es la anatomía de esa flechita que separa las dos curvas sigmoideas de la gráfica No 1? Para comprender mejor lo que sigue a continuación, creo que es conveniente diferenciar entre lo que es un sistema como clase y lo que son los casos (o sistemas) individuales. Una cosa es la especie y otra los individuos de la especie.

Durante la mayor parte del tiempo en el que se presenta la selección normal (aquellos en los cuales la estructura del sistema prácticamente no cambia mayor cosa), los sistemas particulares son relativamente similares. A pesar de ello, podrían existir algunas diferencias mínimas entre ellos. Esos sistemas, levísimamente diferentes, aparecerán como idénticos para su universo "real"; éste no logra percibir esas mínimas diferencias (que podrían llamarse, según el lenguaje del biólogo, neutras), pues él posee ciertos umbrales sensitivos, más allá de los cuales no percibe diferencia alguna. Ahora bien, es factible que una de esas variantes neutras pudiese implicar un universo "real" totalmente diferente al anterior. La variante neutra estaría así en capacidad de asociarse a dos universos totalmente diferentes. Es en esos momentos cuando puede decirse que el sistema

abierto crea, delimita, selecciona y sustituye su universo. Si se configura el nuevo universo, el proceso vuelve a invertirse y comienza a operar una nueva selección normal.

Partiendo de unas diferencias estructurales mínimas, se llega a la formación de sistemas y universos "reales" totalmente diferentes. Referidas al tiempo, las formas intermedias entre el antiguo y el nuevo sistema son prácticamente inexistentes. Lo que se encuentra es a dos sistemas distintos, asociados a dos universos "reales" también claramente diferentes. Los escasos estados intermedios aparecen sepultados por la gran persistencia temporal de los sistemas altamente adaptados a sus universos "reales".

Según se puede ver, en el proceso de formación de los sistemas se combinarían tanto cambios estructurales graduales y continuos (períodos de selección normal), como cambios abruptos y discontinuos (fase de la selección invertida). Aún habría que agregar que lo que desde un referencial o nivel de resolución se presenta como selección normal, desde otro puede presentarse como selección invertida, y viceversa.

Las anteriores ideas implicarían en biología, por ejemplo, la posibilidad de unir consistentemente tres teorías evolutivas diferentes: el neodarwinismo, el neutralismo y el equilibrio puntuado. En la creación de nuevas teorías científicas, habría de esperarse que una nueva teoría surgiese en el interior de la anterior, partiendo de diferencias conceptuales mínimas. Esas mínimas diferencias, aparentemente sin importancia, podrían conducir a una teoría totalmente nueva y distinta a la antigua. Diferencias mínimas conducirán a los sistemas abiertos a situaciones finales totalmente diferentes. Es el efecto mariposa: el batir de alas de una mariposa en Pekín puede, a la larga y si se dan las circunstancias, conducir a una borrasca en New York.

NI HOLISMO NI REDUCCIONISMO

La propuesta anterior que se hace para el cambio de los sistemas, nos puede llevar a abordar la polémica entre el holismo y el reduccionismo de una nueva forma. Para ello es necesario distinguir entre estructura y sistema. Una cosa es que un sistema posea una estructura determinada, y otra que una misma estructura esté -casi como quisiera Platón- "representada" por distintos sistemas. Miremos esto con un ejemplo. Tomemos dos sistemas específicos distintos: uno es un péndulo cónico, y el otro es un carro que se desplaza en una pista circular con peralte. Son sistemas que se presentan a nuestros ojos como totalmente diferentes. A pesar de ello, el movimiento de los dos sistemas es descrito por una misma ecuación matemática; y como en una ecuación matemática de movimiento se resumen las relaciones fundamentales de los elementos constituyentes del sistema, entonces tendríamos dos sistemas diferentes con una misma estructura. Es decir, podríamos tener sistemas específicos diferentes, todos ellos con una misma estructura; lo cual, represento por medio de la figura 7.a.

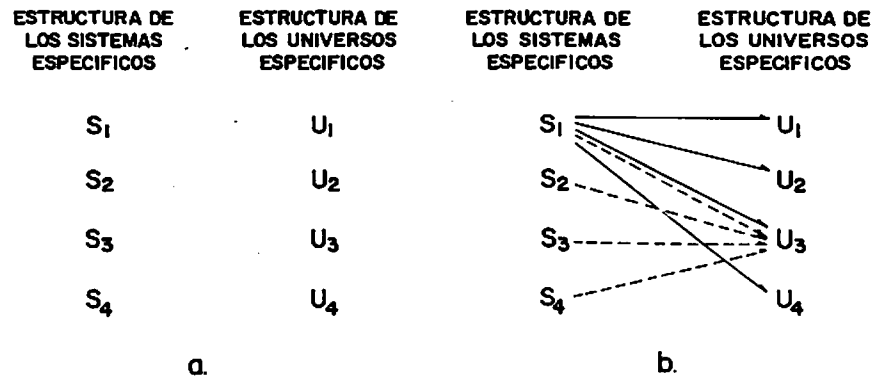


Figura No. 7 Sistemas y universos específicos diferentes con una misma estructura (a). Relación selectiva sistema - universo por complementariedad estructural (b).

Los cuatro sistemas de la figura 7.a. poseen una misma estructura. Lo mismo puede suceder con la estructura de los universos específicos (es decir, universos "reales" particulares): distintos universos específicos pueden tener una misma estructura. Esto lo represento en la misma figura. Ahora bien, según la heurística propuesta, podemos suponer que la estructura de los sistemas específicos S₁, S₂, S₃ y S₄ sea complementaria a la estructura de los universos específicos U₁, U₂, U₃, y U₄; y si ello fuese así, entonces podríamos preguntarnos ¿con cuál universo específico se puede asociar el sistema específico S₁? La respuesta es muy sencilla: con cualquiera, porque con cualquiera de los cuatro presenta complementariedad estructural. Eso lo podemos representar por medio de las líneas continuas que van del sistema específico S₁ a los universos específicos U₁, U₂, U₃ y U₄ de la figura 7.b. De igual manera podríamos preguntarnos ¿cuál de los cuatro sistemas específicos puede asociarse al universo específico U₃? Cualquiera de ellos, y esto se podría representar por medio de las líneas discontinuas que llegan desde los sistemas específicos al universo específico U₃ de la figura 7.b.

Por lo anterior, podría afirmarse que la relación entre el sistema específico y su universo específico es de necesidad y de azar: necesidad porque necesariamente deben asociarse sistemas y universos con estructuras complementarias; y azar porque cualquiera de los sistemas específicos que tenga la estructura indicada, puede asociarse a su universo específico complementario, y porque a uno cualquiera de los universos específicos con la misma estructura, puede asociarse el sistema específico con estructura complementaria. De esta manera, a partir del sistema específico no podríamos deducir el universo específico con el cual se encuentra asociado complementariamente, ni lo contrario, a partir del universo específico no deduciríamos el sistema específico que se le encuentra adaptado complementariamente.

Creo que la relación entre el todo y la parte es similar a lo que he mencionado para la relación entre el sistema y su universo. Pienso que puede aceptarse que la

relación entre el todo y la parte sea de complementariedad estructural; si esto es así, entonces aquí también es posible encontrar partes específicas distintas con una misma estructura, y todos específicos distintos con una misma estructura (figura No 8.a.). Siguiendo la heurística propuesta, podríamos tener que la estructura de las partes específicas P₁, P₂, P₃ y P₄ de la figura, fuera complementaria de la estructura de los todos específicos T₁, T₂, T₃ y T₄. Y de nuevo podríamos preguntarnos ¿a cuál todo específico puede asociarse la parte específica P₁? De nuevo la respuesta sería cualquiera, porque con cualquiera de ellos presenta complementariedad estructural (líneas continuas de la figura 8.b.). Y ¿cuál parte específica puede asociarse al todo específico T₃? La respuesta sería otra vez cualquiera de ellas, porque cualquiera de ellas tiene una estructura complementaria a la estructura del todo específico T₃ (líneas discontinuas de la figura 8.b.). Por esto, a partir de la parte específica no puedo deducir el todo específico (que es el sueño del reduccionista ortodoxo), ni a partir del todo específico puedo deducir la parte específica (que sería la aspiración del holista radical).

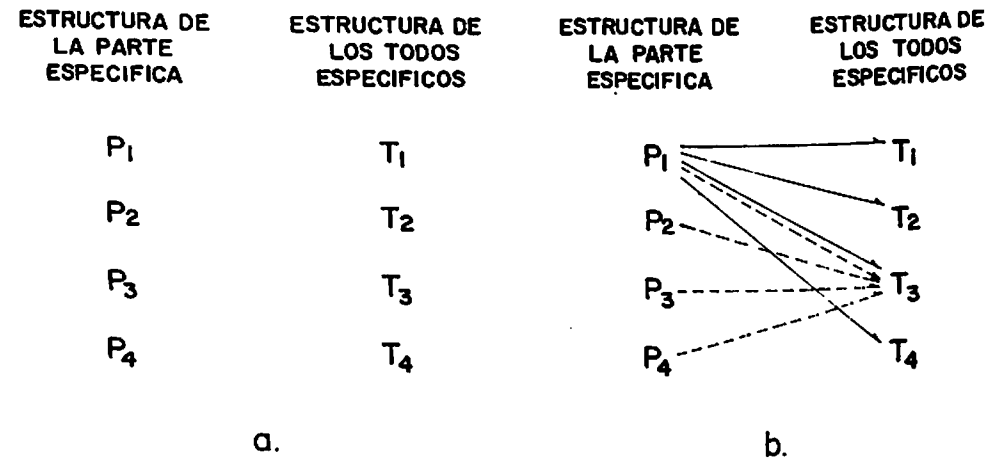


Figura No. 8 Todos y partes específicas diferentes con una misma estructura (a). Relación selectiva parte - todo por complementariedad estructural (b).

Por todo lo dicho, a partir de la parte no puedo llegar al todo; tampoco a partir del todo podré llegar a la parte, y esto porque -propongo- la relación entre el todo y la parte es, también aquí, de azar y necesidad: una misma parte puede asociarse a distintos todos, y a un mismo todo pueden asociarse distintas partes. Por esto creo que ni el holismo ni el reduccionismo resultan suficientes. Ante la disyuntiva holismo o reduccionismo, pienso que la única alternativa sería decir: ni holismo ni reduccionismo: azar y necesidad.

BIBLIOGRAFIA

- AYALA, F., en *Evolución*, Dobzhansky, Th., y otros, Ediciones Omega, S. A., Barcelona, 1980.
- BERTALANFFY, L. VON, en *Tendencias en la teoría general de sistemas*, Bertalanffy, L. von, Ashby, W. R., Weinberg, G. M., y otros, Alianza Editorial, Madrid, 1984.
- HEGEL, G. W. F., *Enciclopedia de las ciencias filosóficas*, Editorial Porrúa, S. A., México, 1980.
- HUXLEY, SIR J., y KETTLEWEL, H. D. B., *Darwin*, Salvat Editores, S. A., Barcelona, 1984.
- JACOB, F., *El juego de lo posible*, Ediciones Grijalbo, S. A., Barcelona, 1982.
- LORENZ, K., *La otra cara del espejo*, primera edición, Plaza & Janés, S. A., Ediciones, Barcelona, 1980.
- MARX, C., *Introducción general a la crítica de la economía política* (no aparece ni editorial ni año).
- , *Contribución a la crítica de la economía política*, Editorial La Oveja Negra, Ltda., Medellín, 1975.
- SHANNON, C.E., y WEAVER, W., *The mathematical theory of communication*, The University of Illinois press: Urbana, 1949.
- WAGENSBERG, J., *La necesidad del azar*, *Mundo científico*, Vol. 1, No. 1, pp.32-43.
- , *Ideas sobre la complejidad del mundo*, segunda edición, Tusquets Editores, Barcelona, 1989.

Búsqueda de un modelo sobre la evolución de los mecanismos de reparación del ADN

Primavera Grigoriú de Buendía*

RESUMEN

En el estudio molecular de la evolución se ha hecho la suposición de que la vida ha partido de una organización completamente al azar de los nucleótidos para finalmente llegar a unas cadenas ordenadas.

El modelo de la onda portadora que he desarrollado supone que la vida partió de cadenas cristalinas completamente monótonas en las cuales se fueron introduciendo variaciones fijadas por ocasionales ventajas de estas con respecto a las estructuras monótonas originales. La teoría considera la información como un proceso de introducción de variabilidad dentro de la monotonía.

Este modelo profundiza sobre el proceso mutacional y identifica los mecanismos de reparación del ADN como principales determinantes de la cantidad de variabilidad nucleotídica que puede existir en el ADN y por tanto limitantes del nivel de variabilidad orgánica.

Se propone que las cadenas cristalinas originales de ácidos nucleicos con poco azar en sus secuencias fueron mantenidas por una reparación no muy distinta de las leyes de cristalización química. Para que estas secuencias pudieran incorporar cada vez más cantidad de azar y complejidad se necesitó la aparición de nuevos mecanismos de reparación diferentes de los que regresan las cadenas dañadas a las secuencias cristalinas iniciales. De esta forma la evolución de la

* Instituto de Genética, Universidad de los Andes, Bogotá

vida tuvo que ser paralela y concomitante a la evolución de los mecanismos de reparación. La aparición de cada nuevo mecanismo que pudiera identificar el daño y reparar fielmente las cadenas permitió el mantenimiento de más azar en las secuencias abriendo con esto nuevos campos o potencialidades de variabilidad nucleotídica. Los mecanismos arcaicos, restos de las leyes de cristalización creadoras de monotonía, mantienen la continuidad de las cadenas de ADN en condiciones de emergencia y con esto la viabilidad celular, mientras los mecanismos evolucionados tienen como función principal conservar el azar en las cadenas.

Siguiendo el principio de que la evolución ha producido especificidad se pueden identificar los mecanismos de reparación prereplicativos, específicos para cada tipo de lesión, como evolucionados y los mecanismos postreplicativos como arcaicos, ya que actúan de la misma forma ante cualquier lesión restableciendo la continuidad de las cadenas hijas interrumpida debido a las lesiones en la cadena molde.

Este modelo nos ha permitido varias predicciones e interpretaciones que referencio a continuación:

1. *Tratamientos con agentes que dañan el ADN o cepas deficientes en las reparaciones prereplicativas no pueden constituirse en fuente de variabilidad generadora de nuevas informaciones. Los experimentos de Carson, 1964 y Benado et al., 1976 que utilizaron estas fuentes de variabilidad para demostrar el efecto que tiene la selección para producir mejorías adaptativas obtuvieron resultados negativos con lo cual se confirma esta predicción del modelo.*
2. *Los mecanismos postreplicativos deben ser más eficientes en el mantenimiento de la continuidad de las cadenas de ADN y con esto de la viabilidad celular que los mecanismos prereplicativos. Construyendo en *Drosophila melanogaster* dobles mutantes con dos deficiencias en reparación he encontrado, de acuerdo a esta predicción, que los mutantes con dos defectos en la reparación postreplicativa tienen un efecto mayor sobre la viabilidad celular que los mutantes que tienen una deficiencia postreplicativa y una prereplicativa.*
3. *Los mecanismos postreplicativos no colocan durante su actuación errores al azar sino que tienen preferencia para ciertos nucleótidos con lo cual se regresa a la monotonía. Experimentos efectuados en bacterias (Kunkel, 1983) confirmaron esta predicción ya que encontraron que las polimerasas que sintetizan sobre moldes con lesiones (síntesis translesión) no producen mutaciones al azar sino que tienen preferencia para colocar adenina, lo cual está de acuerdo con las predicciones del modelo en el sentido de que este tipo de reparación arcaica muestra ser una generadora de monotonía. De la misma forma experimentos efectuados en levaduras también apoyan este modelo (ver Armstrong y Kunz, 1992; Roche et al., 1992). Las mutaciones producidas en*

la cepa rev3 deficiente en la reparación postreplicativa se acercan más al azar que las de la cepa silvestre mientras el espectro mutacional de los mutantes deficientes en la reparación prereplicativa (en donde la reparación postreplicativa tiene más posibilidades de actuar) es más monótono que el de la cepa silvestre.

INTRODUCCION

El fenómeno llamado por Kuhn (Kuhn, 1970) *paradigma* fue descubierto por este cuando preparando una conferencia sobre la historia de la física, la lectura de «la física» de Aristóteles lo hizo pensar en una discordancia entre ésta y los otros brillantes escritos de éste autor. Insistiendo en su lectura logró comprender que conceptos fundamentales como el de movimiento habían cambiado tan substancialmente, que hacían hoy incomprensible todo el discurso. El simple hecho de cambiar un concepto fundamental (el paradigma), el concepto de movimiento, le abrió sorpresivamente todo el universo de la física aristotélica. Es en base a esta experiencia personal que Kuhn formula su propuesta fundamental sobre la existencia de cambios revolucionarios dentro de la ciencia, que constituyen su concepción estructuralista del progreso del conocimiento científico. Esta visión identifica los momentos críticos en los cuales aparecen experimentos que contradicen los paradigmas vigentes, las crisis dentro de las respectivas ciencias y el nacimiento de los nuevos paradigmas que amplían soluciones en el universo interpretativo del conocimiento. La influencia de las ideas de Kuhn en el conocimiento científico contemporáneo se reconoce en dos campos importantes. El primero es que el investigador siempre tiene unos presupuestos para su investigación pero que estos se pueden identificar y hacer explícitos sin tener que renunciar a ellos (paradigma del griego *paradeiknymi*, mostrar, manifestar). El segundo es la lección evidente que su descubrimiento da sobre la eficacia del método histórico de análisis.

Dos corrientes siguieron al descubrimiento de Kuhn.

1. En la primera los paradigmas son entendidos como una rémora que dificulta el entendimiento de lo que nos es ajeno y que produce un encasillamiento de los científicos o personas que trabajan en una determinada área. Pero aún ésta plantea una enseñanza interesante por cuanto abre los ojos para observar con un criterio diferente los puntos donde se mueven las fronteras del conocimiento.
2. En la segunda se descubre mediante la dinámica de los rompimientos paradigmáticos el proceso de creación del nuevo conocimiento científico. El descubrimiento que hace Kuhn de una estructura básica presente en el proceso de adquisición del conocimiento, en las diferentes ciencias, es un paradigma para analizar cualquier proceso informativo.

Queremos reconocer la influencia de las ideas de Kuhn sobre la búsqueda del modelo de evolución de los mecanismos de reparación del ADN, tanto a nivel del contenido como en el enfoque histórico de esta presentación.

La teoría estructuralista de la información, base del modelo de la evolución de los mecanismos de reparación del ADN, concreta y generaliza los paradigmas implícitos en la estructura de las revoluciones científicas aplicando el proceso mediante el cual se aumenta el conocimiento científico al aumento de la información genética.

Esta idea resultó enormemente útil al afrontar el reto de abstraer la unidad primaria de información. Es así como hemos llegado a considerar que la teoría de Kuhn constituye un paradigma operativo fundamental para el desarrollo de las ciencias.

Desde el trabajo que presenté en el año 1984 en la Universidad Nacional (ver Grigoriú de Buendía, 1984) hice explícita la consideración de estar aplicando los principios de la gnoseología contemporánea: tanto el principio de Kuhn ya citado como las ideas de la «práctica teórica» propuesta por Althusser (1965).

En el presente trabajo se desarrollan los siguientes lineamientos:

1. La historia del desarrollo de las ideas sobre la reparación del ADN en donde se pueda ver la génesis de los paradigmas.
2. Los problemas a los cuales se enfrentan los paradigmas actuales de la biología y las soluciones que los nuevos paradigmas propuestos pueden ofrecer.

Espero que esta presentación ofrezca una idea más clara del método de investigación seguido por muchos científicos. La simple lectura atenta de los autores ya citados ha cambiado en los investigadores actuales los criterios de verdad.

EL XERODERMA PIGMENTOSUM COMO UN LABORATORIO VIVO PARA EL ESTUDIO DEL CANCER

El fenómeno de la fotorreactivación fue descubierto en 1949 por Kelner, cuando observó que las levaduras inactivadas por luz ultravioleta se reactivaban si eran expuestas a la luz blanca. Los experimentos que siguieron explicaron el efecto inactivador de la luz ultravioleta como producción de lesiones en el ADN, dímeros de timina (Setlow y Setlow, 1962), y la fotorreactivación como la reparación enzimática de este daño utilizando la luz blanca. En 1964 Setlow y Carrier identifican que la reparación en oscuridad (otro tipo de reparación de los dímeros de timina) consiste en el rompimiento de la cadena de ADN a nivel de los dímeros con la consiguiente eliminación de éstos. Este tipo de reparación se llamó reparación por escisión. Más tarde, Cleaver (1969) y Setlow (1969) encontraron que la enfermedad llamada *Xeroderma pigmentosum*, conocida por su inexorable evolución hacia el cáncer, se debía a un defecto hereditario en la reparación por escisión de los dímeros de timina. Las células de estos pacientes son incapaces de eliminar las lesiones producidas en su ADN por la luz ultravioleta.

Los experimentos de Setlow y Setlow, 1962, habían mostrado que el ADN con lesiones es inactivo y que la presencia continuada de lesiones en el ADN conduce a la muerte celular. Por lo tanto al excluir la posibilidad de que las lesiones produjeran directamente las mutaciones o el cáncer, la falta de la reparación por escisión implica que necesariamente debería existir otro tipo de reparación capaz de recuperar la continuidad de la cadena y de esta forma poder producir células hijas con mutaciones o cáncer. En la identificación de esta otra reparación fueron importantes los experimentos de Ames (1979) que encontró una fuerte correlación entre mutagénesis y carcinogénesis y el trabajo de Witkin (1976) que propuso la existencia de una reparación propensa a error, responsable de las mutaciones producidas durante las respuestas S.O.S, después del tratamientos con agentes que dañan el ADN.

Sin embargo, dentro del proceso de carcinogénesis observado en el *Xeroderma pigmentosum* quedaba por aclarar como una reparación propensa a error podría conducir a la transformación cancerosa de las células.

Fue así como desarrollamos un modelo donde tuvimos en cuenta además de lo anteriormente descrito el carácter primitivo de las células cancerosas manifiesto en las siguientes características:

1. Muestran un proceso de desdiferenciación celular muy de acuerdo con la primera denominación del cáncer como degeneración maligna.
2. Utilizan ciclos metabólicos primitivos como la glucólisis anaeroba.
3. Pierden la información necesaria para vivir en una organización tisular, por lo cual dejan de inhibir su crecimiento al contacto con las demás células.
4. Al igual que los organismos monocelulares, no requieren de factores de crecimiento para poder ser cultivadas *in vitro*.

Propusimos en consecuencia que *las reparaciones propensas a error son formas arcaicas de reparación que actúan funcionalmente en las células en los estados de emergencia conservando la viabilidad celular pero a cambio borrando las informaciones evolucionadas y haciendo regresar las células a un estado primitivo*. La acción de estas reparaciones arcaicas se ve aumentada en las carencias hereditarios en algún mecanismo de reparación normal, como en *Xeroderma pigmentosum*, o cuando hay un número grande de lesiones en el ADN (ver también Grigoriú de Buendía, 1984 y 1991).

LOS FRACASOS DE LAS TEORIAS INFECTIVAS

Paralelamente a la investigación que se hace del cáncer en el *Xeroderma pigmentosum* se realizan investigaciones en cáncer encaminadas a descubrir las causas del mismo cuando tiene origen viral. Desde un principio existió la idea de buscar como en la mayoría de las enfermedades conocidas un agente infec-

cioso. Como se conocieron desde un principio cánceres inducidos por virus se pensó que el virus debería traer los genes responsables de la formación de tumores y muy rápidamente se les dio el nombre de «oncogenes» y se dieron a la tarea de aislarlos e inducir cánceres en laboratorio con estos oncogenes aislados (para revisión ver Bishop, 1983, Duesberg, 1983).

Sin embargo, la tarea no resultó todo lo fácil que se esperaba y la infectividad de estos aislados nunca llegó a probarse efectivamente, así es como se reformó la teoría de los oncogenes diciendo que no eran traídos por los virus sino, por el contrario serían genes presentes dentro del mismo organismo y activables mediante mutaciones producidas por la entrada de los virus en el genoma. Este modelo, herencia de la teoría infectiva anterior constituye la idea donde se encuadran la gran mayoría de las actuales investigaciones en carcinogénesis. Se remarca que la simpleza original del modelo no ha logrado mantenerse requiriéndose su modificación en el sentido de proponer, ya no una mutación sino dos para producir la supuesta activación de estos oncogenes. En términos generales la infectividad de estos oncogenes *in vivo* no ha sido probada.

En el fondo de toda esta idea está todavía presente una ya antigua idea de Watson de que el cáncer no es un proceso desdiferenciador y degenerativo sino por el contrario algún tipo de diferenciación celular hacia el cáncer generada por adición de nuevo material genético en las células (Watson, 1965). Es así como toda la investigación se ha dirigido a descubrir estos genes responsables de dicha diferenciación de las células hacia esta vía.

No deja de llamar la atención la peculiaridad de esta supuesta forma de diferenciación ya que ella sería la única para la cual las células no pierden la potencialidad de diferenciarse en cualquier momento es decir a diferencia de todos los otros tipos de diferenciación que sólo se producen a partir de células no diferenciadas, la diferenciación hacia el cáncer sería la única capaz de darse a partir de cualquier tipo de célula ya diferenciada.

Hay varios datos experimentales que ponen en serios problemas la teoría de los oncogenes (ver también Willecke and Schafer, 1984):

1. La inducción del cáncer por la introducción de estos oncogenes no ha podido ser probada en células normales sino solamente en las células NIH/3T3 que son células que tienen ya muchas de las características de las células cancerosas (inmortalidad y anormalidades cariotípicas).
2. Se ha querido relacionar la activación de un cierto oncogen con un cierto tipo de cáncer, sin embargo, esto no ha podido ser demostrado y sólo una minoría de las células tumorales analizadas (10-20%) muestran defectos en los oncogenes. De la misma forma, la mayoría de las líneas tumorales examinadas (80%) no han permitido el aislamiento de genes transformantes.

3. En la mayoría de las predisposiciones hereditarias al cáncer se ha descubierto finalmente una deficiencia en la reparación del ADN (Setlow, 1969, 1978), mientras las anormalidades en oncogenes no han podido ser encontradas en ninguna.

Además de estas incongruencias experimentales la teoría de los oncogenes tampoco explica porque las mutaciones al azar no producen otros fenotipos mutantes sino solamente la activación de los oncogenes.

EL MODELO ESTRUCTURALISTA DE LA INFORMACION INFORMACION VERSUS PERDIDA DE INFORMACION

Si aceptamos el reto de entender el fenómeno del cáncer como una desdiferenciación celular, es decir, una pérdida de información manifiesta dentro de alguna célula somática, nos debemos dar a la tarea de definir con precisión lo que entendemos por información y en que forma ésta puede aumentar o perderse durante la evolución.

El tradicional modelo informático de Shannon y Weaver (1963), desarrollado en base a la gnoseología clásica que entiende el conocimiento como una relación entre objeto y sujeto, identifica tres elementos: emisor, receptor y medio de transmisión de la información. Resulta difícil aplicar este modelo al proceso de la información genética por la dificultad de identificar el sujeto y objeto dentro de la información y ni que decir de las aplicaciones más complejas del modelo, cuando tendríamos que identificar servomecanismos de control que involucren varios niveles de mensajes para cualquier tipo de reacción.

Abandonando este complicado modelo informático propusimos la «teoría estructuralista de la información» (Grigoriú de Buendía, 1987) con la cual desaparece la necesidad de buscar en la información un modelo relacional y por el contrario se trata de un fenómeno estructural que define la información como un fenómeno en sí mismo sólo dependiente de la estructura que le da origen. Al igual que en la teoría de Kuhn donde no existe la necesidad de un investigador ajeno e imparcial al fenómeno mismo, la teoría estructuralista de la información no tiene la necesidad de emisores, receptores y transmisores.

Se propone que todo proceso informativo requiere únicamente (1) una onda portadora y (2) unas alteraciones a esta estructura repetitiva, lo que es lógico y realmente suficiente para producir el fenómeno de la información (ver fig. 1). El significado del término in-formación (por fuera de la formación teniendo en cuenta el prefijo negativo latino *in*) es muy descriptivo del fenómeno. La onda portadora, la estructura que es repetida en tiempo y espacio sirve de patrón, de modelo. Si dentro de este patrón repetido colocamos alguna diferencia, por ese mismo hecho la nueva secuencia se constituye en información. Estos dos elementos pueden ser fácilmente reconocibles en cualquier sistema informativo. Por ejemplo en radio, de donde tomamos el nombre de onda portadora, ésta es producida estandarizando la frecuencia o la amplitud de las ondas radio. La

información se coloca cuando alteramos alguno de los parámetros estandarizados, la amplitud o la frecuencia. En el campo de la ciencia la estructura de la revoluciones científicas de Kuhn tiene implícito este concepto sobre los sistemas informativos. Los paradigmas representan el conjunto de reglas y normas sobre los cuales se basa la investigación científica en un cierto dominio y en un momento dado. El progreso de la ciencia se produce cuando determinados hechos escapan a la repetida aplicación de los paradigmas en cuyo caso puede aparecer una nueva estructura paradigmática con capacidad de interpretar también estos nuevos fenómenos. De tal forma el conocimiento se produce fundamentalmente como una evolución de la estructura paradigmática existente que permite una mejor organización dentro de dicha estructura. Nótese que allí desaparece la necesidad de un objeto real existente en sí mismo (caso del materialismo que supone la existencia de un objeto real, a priori o del idealismo que supone la existencia previa del sujeto o de la idea en el sujeto). Ni «objeto» ni «sujeto» existen anteriormente al conocimiento, simplemente nacen como un proceso de evolución de la estructura que a cada paso podríamos decir que define el nuevo sujeto (la estructura informativa actualmente determinante) y delimita el objeto del conocimiento (ambiente determinado por una estructura en un momento dado). La frase de Hegel «la filosofía es una rosa en la cruz del presente» testimonia el carácter puramente conyuntural de la teoría clásica del conocimiento.

Para aplicar este modelo a la información genética es útil analizar la cristalización, como el estado primario de la información (fig. 1).

Si tenemos una mezcla de sustancias y aplicamos energía radiante vamos a aumentar el desorden, la entropía. Si disminuimos la energía radiante y aplicamos una energía direccionada como la centrifugación o sedimentación vamos a obtener un orden. Las moléculas se ordenan según su peso molecular. Si durante este proceso, alguna molécula extraña queda atrapada dentro de las moléculas del mismo tipo, la energía radiante no será devuelta en su totalidad al medio y hará posible que las moléculas de la sustancia pura se organicen alrededor de este núcleo de cristalización de acuerdo al patrón dado por el primer cristal (Ruiz Mejia, 1987). La molécula extraña, la información, aumenta el desorden de las moléculas puras (onda portadora) pero a nivel supramolecular se produce la organización cristalina. La trampa de entropía producida por la impureza permite el fenómeno de la transcendencia. Definimos la transcendencia como la capacidad de la información de influenciar el resto de la sustancia para copiar su tipo de organización. La transcendencia permite la aparición de nuevos tipos de estructuras repetitivas, con unidades más complejas capaces a su vez de replicarse para luego contaminarse y volverse nuevos sistemas informativos. A medida que aumenta la complejidad de la información el sistema contiene más energía interna y organiza más materia.

Para la vida, las cadenas o formaciones cristalinas de ácidos nucleicos primitivos con el conocido poder de replicación propio de los cristales aparecen como ideales para empezar a colocar allí alteraciones a estas ondas portadoras que las transformaran en estructuras informativas.

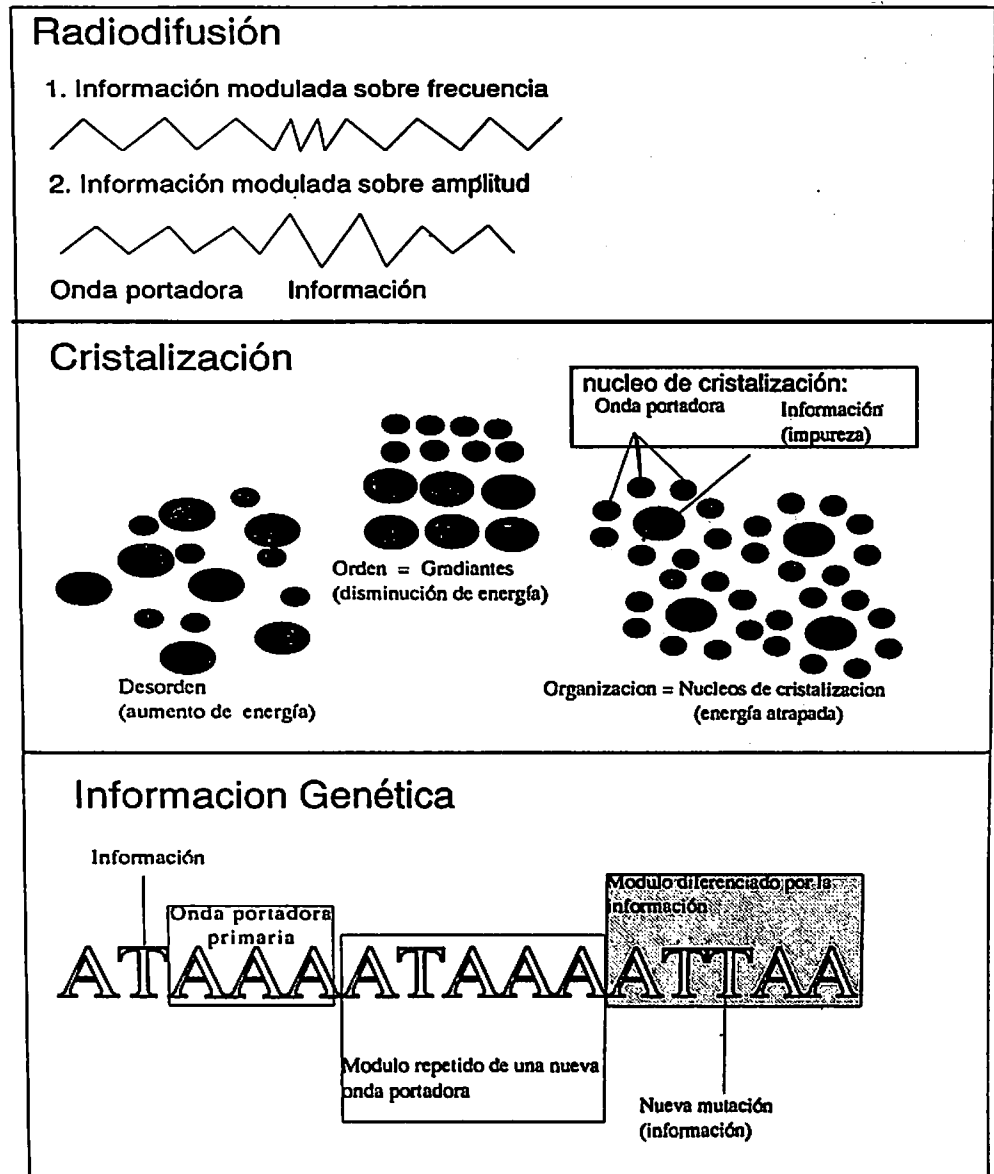


Figura No. 1. Modelo estructuralista de la información: cualquier sistema informativo tiene dos elementos (1) onda portadora (2) información.

Hagamos el ejercicio lógico de este proceso:

Si tenemos una serie de cristales monótonos (homopolímeros), por ejemplo AAAAA, éstos podrían replicarse dentro de un medio rico en el elemento adenina. Si en un momento determinado uno de estos cristales resulta contaminado con una T en el segundo lugar de la cadena (ATAAA), de inmediato esto lo identifica como tal, lo individualiza y determina como ente diferente de los demás. Aparece entonces el fenómeno de información en su forma más elemental, pero si el mecanismo de replicación de los cristales logra replicar este cristal ya informatizado, entonces se toma la elección de si éste es mas viable que los cristales anteriores; si esto es así en el transcurso de N generaciones nos encontraremos con una enorme población de cristales de 5 A con una T en su segunda posición. La información genética primaria pudo ser representada por alteraciones de este tipo a una secuencia monótona. La cantidad mínima de alteraciones con su onda portadora que pudo integrar un sistema se pudo constituir en un módulo original que, por duplicaciones sucesivas, creó nuevos tipos de onda portadora que a su vez pudieron contrastar niveles crecientes de información.

IMPORTANCIA EVOLUTIVA DE LOS MECANISMOS DE REPARACION

La capacidad de ensayar posibilidades adaptativas sólo estará limitada por las posibilidades de replicar y reparar cristales con mucha información incorporada.

La posibilidad de replicar cristales de homopolímeros podemos entenderla como una ley básica de cristalización pero la posibilidad de replicar cristales mas complejos es concomitante con el desarrollo evolutivo de los mecanismos de replicación y reparación de las cadenas.

Debemos tener en cuenta que el estado puro de un cristal simple es la forma más ordenada y desde el punto de vista termodinámico el estado de menor entropía por lo cual la introducción de alteraciones en las estructuras informativas va acompañada de un aumento en la entropía interna del cristal que se mantiene gracias a las ventajas adaptativas almacenadas en el sistema informativo. Un aumento exagerado de energía (agresiones del medio) puede superar el umbral de contención interna de la energía y liberarla hace regresar el sistema a un estadio anterior de ordenamiento, en el cual las informaciones que pudieron organizar pasajeramente el anterior sistema informativo sean borradas.

Es entonces imprescindible, en la evolución de los organismos, la evolución de mecanismos que permitan mantener, en caso de daño, las alteraciones a la estructura cristalina de los homopolímeros o copolímeros de ácidos nucleicos. De esta forma podemos entender como la evolución de los mecanismos de reparación ha sido un condicionante del proceso evolutivo.

EL ORIGEN DE LA VIDA PARTIENDO DEL CRISTAL VERSUS PARTIENDO DEL AZAR

La mayoría de las teorías evolutivas proponen que la vida partió de secuencias azarasas de ácidos nucleicos que han aumentado su orden durante la evolución por acción de la selección natural. En contraposición a estas teorías estamos proponiendo que la vida partió de secuencias muy monótonas de ácidos nucleicos que son las únicas que pudieron ser mantenidas por una reparación y replicación no muy sofisticadas que debieron existir al principio de la vida. Por ejemplo, la misma afinidad entre las bases complementarias, remanente de alguna ley de cristalización, pudo ser una forma de restablecer la continuidad de las cadenas interrumpida por alguna agresión ambiental. Este tipo de reparación es idóneo para cadenas cristalinas con muy poco azar, pero a medida que el número de alteraciones a la estructura cristalina aumenta deben aparecer mecanismos de reparación que puedan identificar las lesiones, restablecer fielmente las secuencias y con esto disminuir la acción de las reparaciones primitivas que regresan a la monotonía. La aparición de cada nuevo tipo de reparación permite que un nuevo número de alteraciones a la estructura repetida pueda ser mantenido con lo cual se puede decir que abre todo un campo de variabilidad nucleotídica ya que permite que nuevas informaciones puedan ser mantenidas. Los períodos de cambios bruscos seguidos por períodos relativamente estáticos que se han observado en el registro fósil (Gould y Eldredge, 1977; Stanley, 1982) podrían corresponder a nivel molecular a la aparición de un nuevo mecanismo de reparación.

MODELO SOBRE LA EVOLUCION DE LOS MECANISMOS DE REPARACION

Analizando, en base a estos paradigmas de la información, los mecanismos de reparación conocidos se puede inferir en que estadio de la evolución ha aparecido cada uno de ellos (ver figura 3). Si además consideramos que la evolución produce especificidad, los mecanismos de reparación conocidos con el nombre de pre-replicativos se pueden identificar como evolucionados por ser específicos para cada tipo de lesión y por reparar fielmente las secuencias de ADN.

Los mecanismos de reparación llamados postreplicativos se pueden identificar como arcaicos ya que son inespecíficos, pues actúan de la misma forma para cualquier lesión restableciendo la continuidad de las cadenas hijas interrumpida debido al bloqueo de la replicación producido por la presencia de cualquier lesión en la cadena molde. Se debe aclarar que aunque el nombre de estos mecanismos hace pensar que actúan después de la replicación, en realidad ellos actúan durante la replicación del ADN. De estos mecanismos postreplicativos hacen parte la recombinación homóloga, la recombinación no homóloga y la síntesis translesión.

1. La síntesis translesión es un tipo de síntesis que ignora las lesiones en el molde y introduce muchos errores adicionando nucleótidos en el extremo de la cadena interrumpida. Este tipo de reparación ha sido observado en bacterias durante

la respuesta SOS (Witkin, 1976) y puede ser reproducida *in vitro* cuando las ADN polimerasas replican moldes con lesiones. Hay suficientes indicaciones de que este tipo de reparación ocurre también en eucariotes incluyendo mamíferos (Miskin et al., 1981; Maher, 1976, 1982; Armengod et al., 1982). Identificamos la síntesis translesión como el primer tipo de reparación que apareció durante la evolución.

2. La recombinación no homóloga o ilegítima restablece la continuidad mediante recombinación con cualquier secuencia que tenga algún parecido con la secuencia original. Es menos regresiva y se basa sobre el hecho de que el genoma ha sido construido mediante duplicaciones sucesivas que han llevado a la aparición de nuevos tipos de onda portadora. La acción de este tipo de recombinación lleva a deleciones, duplicaciones, translocaciones u otros rearrreglos cromosómicos.
3. La recombinación homóloga restablece la continuidad de la cadena hija mediante recombinación con el cromosoma homólogo. Este tipo de reparación postreplicativa es menos regresiva ya que puede resultar fiel si en el cromosoma homólogo no ha habido pérdida previa de información (como en los heterocigotos de genes deletéreos recesivos).

Contrariamente a lo mantenido por nosotros, Kondo (1974) también intentó una clasificación de los mecanismos de reparación de acuerdo a un criterio evolutivo. El identificó la fotorreactivación como el primer tipo de reparación que ha aparecido en la evolución y la reparación postreplicativa como la última. La opinión de Kondo es relacionada con el orden en el cual se han descubierto los mecanismos de reparación y con la idea implícita de que los procariotes son organismos primitivos y por esto los mecanismos de reparación más desarrollados de estos organismos también deben ser primitivos. Sin embargo, datos paleobiológicos consistentes en el análisis de microfósiles que datan desde hace 1400 millones de años, están apoyando la idea de que los eucariotes son por lo menos igual de antiguos a los procariotes (Schopf y Oehler, 1976). Desde el punto de vista del modelo estructuralista de la información los procariotes aparecen como organismos altamente especializados para el mantenimiento de la información ya que tienen que mantener en sus genomas pequeños una gran densidad de información (muchas alteraciones a la onda portadora). Contrario a esto, los eucariotes han desarrollado lentamente su capacidad de mantener la información (los mecanismos prereplicativos de reparación) por lo cual tienen genomas grandes con baja densidad de información.

Podemos citar algunas predicciones e interpretaciones que se esperan si seguimos nuestro modelo sobre la evolución de los mecanismos de reparación:

1. La posibilidad de aparición de nuevas funciones, nuevas informaciones, es dada por la capacidad de conservar las alteraciones a la onda portadora. El número de alteraciones aumenta con la aparición de cada nuevo mecanismo de reparación prereplicativa ya que la reparación arcaica tiene menos opción

de actuar. Es difícil de probar esto directamente, pero el experimento inverso, la pérdida de un mecanismo de reparación prereplicativa, o el aumento en la actuación de la reparación arcaica debido a tratamientos con agentes que dañan el ADN, debería mostrar una disminución en la posibilidad de fijar más variabilidad en el ADN. Benado et al. (1976) trató de mostrar el efecto que tiene la selección para producir nuevas adaptaciones utilizando como fuente de variabilidad generadora de cambio adaptativo una cepa con alta tasa de mutación que posiblemente tenía una deficiencia en la reparación prereplicativa. Sin embargo, en comparación con la cepa silvestre, esta cepa reveló una disminución en la adaptabilidad y no un aumento como se esperaba. El experimento de Carson (1964) que utilizó como fuente de variabilidad los tratamientos con rayos X llevó también a un resultado negativo. Estos experimentos que han sido vistos como fenómenos curiosos pueden ser entendidos si aceptamos que la variabilidad poblacional, dada por tratamientos con agentes que dañan el ADN o por defectos en la reparación normal, no representa un aumento en la variabilidad del ADN fuente de nuevas funciones, sino una disminución de esta.

2. Los mecanismos arcaicos, los postreplicativos, deben ser más eficientes en restablecer la continuidad de las cadenas de ADN confirmando mayor viabilidad celular que los mecanismos prereplicativos. De otra parte, el mantenimiento de la información debe ser la función principal de los mecanismos prereplicativos. He construido en *Drosophila melanogaster* unos mutantes con dos deficiencias en la reparación del ADN y he analizado el efecto de esta doble deficiencia sobre la viabilidad celular. De acuerdo a lo esperado, los mutantes con dos defectos en la reparación arcaica, la postreplicativa, mostraron una disminución mayor de la viabilidad celular que los mutantes con un defecto postreplicativo y uno prereplicativo (Grigoriú de Buendía, 1992).
3. La síntesis translesión identificada como una reparación arcaica no debe producir mutaciones al azar sino mutaciones que regresen a la monotonía. Experimentos *in vitro*, efectuados en bacterias, están de acuerdo con esta predicción ya que han mostrado que las polimerasas responsables de la síntesis translesión tienen preferencia para colocar adenina (Kunkel et al., 1983; Rabkin et al., 1983). De la misma forma experimentos efectuados en levaduras (Roche et al., 1992) han mostrado que en el mutante *rev3*, deficiente en la síntesis translesión, las mutaciones producidas se acercan más al azar pues la frecuencia de los cambios GC->AT son menores a la cepa silvestre donde casi todos de los cambios son de este tipo; concluimos entonces que la gran cantidad de cambios GC->AT en la cepa silvestre se deben al funcionamiento de la síntesis translesión.

Esta conclusión está reforzada por el experimento de Armstrong y Kunz (1992) quienes mostraron que el mutante *rad1*, de levaduras, deficiente en la reparación por escisión y donde la síntesis translesión debe actuar más, tiene un espec-

tro mutacional con una proporción de cambios CG->AT aún mayor que la cepa silvestre.

EL ORIGEN DE LOS ORGANISMOS PLURICELULARES

Sobre la evolución de los organismos pluricelulares hay principalmente dos tipos de teorías. (1) Unas de ellas identifican, como ancestros de los organismos pluricelulares, a las colonias de protistas especializados diferencialmente que integraron un sistema pluricelular mediante simbiosis. (2) Las otras teorías identifican a los seres sinciciales multinucleados que más tarde desarrollaron divisiones membranosas como los posibles ancestros de los organismos pluricelulares.

Divergimos principalmente de las teorías simbióticas, proponiendo que los ancestros de los organismos pluricelulares eran seres con contenido genómico idéntico pero que expresaban partes diferentes de la misma información genética. Mediante duplicaciones, así como observó Haldane (1933) y Ohno (1970) las copias se liberan de las restricciones funcionales y se pueden colocar nuevas alteraciones, que pueden resultar en nuevas funciones (fig. 2). Con la nueva función, los organismos portadores en caso que se acaba un primer recurso del medio, tienen la posibilidad de utilizar un segundo recurso y de esta forma extender su tiempo de vida. Si el nuevo recurso utilizado es un subproducto de la primera función, la probabilidad de fijar esta información sería mucho mayor que la probabilidad de fijación de una función que utiliza un recurso esporádico. De esta manera se forman cadenas de funciones entrelazadas por la utilización como recurso del subproducto de la función anterior. Este aumento de información mediante duplicaciones que llevan a nuevas funciones puede dar dos situaciones: (1) Si los dos segmentos divergentes de información se pueden expresar dentro de la misma célula se puede dar una complementariedad intracelular. (2) Si la nueva función resulta dentro de la misma célula mutuamente excluyente de la función anterior pueden aparecer dos tipos de células que tienen la misma información genética pero expresan partes diferentes de esta información. Por ejemplo, células que por su ubicación espacial tienen poco acceso al recurso primario (las células de la parte central de una esfera), pero tienen acceso al subproducto de la función primaria, expresaran solamente la información relacionada con este subproducto. Así se pueden construir colonias de células idénticas pero que expresan funciones diferentes que por esta utilización exhaustiva de un recurso tendrán una eficiencia energética y una independencia del medio mayor que las células que únicamente tienen una de las dos funciones. De esta manera la complementariedad extracelular compensa el costo de tener que replicar un genoma duplicado (ver figura 2). La aparición de estos seres construidos en base a ondas portadoras cada vez más complejas que pudieron contrastar niveles altos de información, requirió de la evolución simultánea de mecanismos de reparación que pudieron mantener estos aumentos en la cantidad de información. Sin embargo, en estos genomas grandes de baja densidad informativa es posible que la evolución de los mecanismos de reparación haya sido más lenta que en los procariotes donde la alta densidad de información, con la saturación de la onda portadora (difícilmente reconocible hoy) revela una

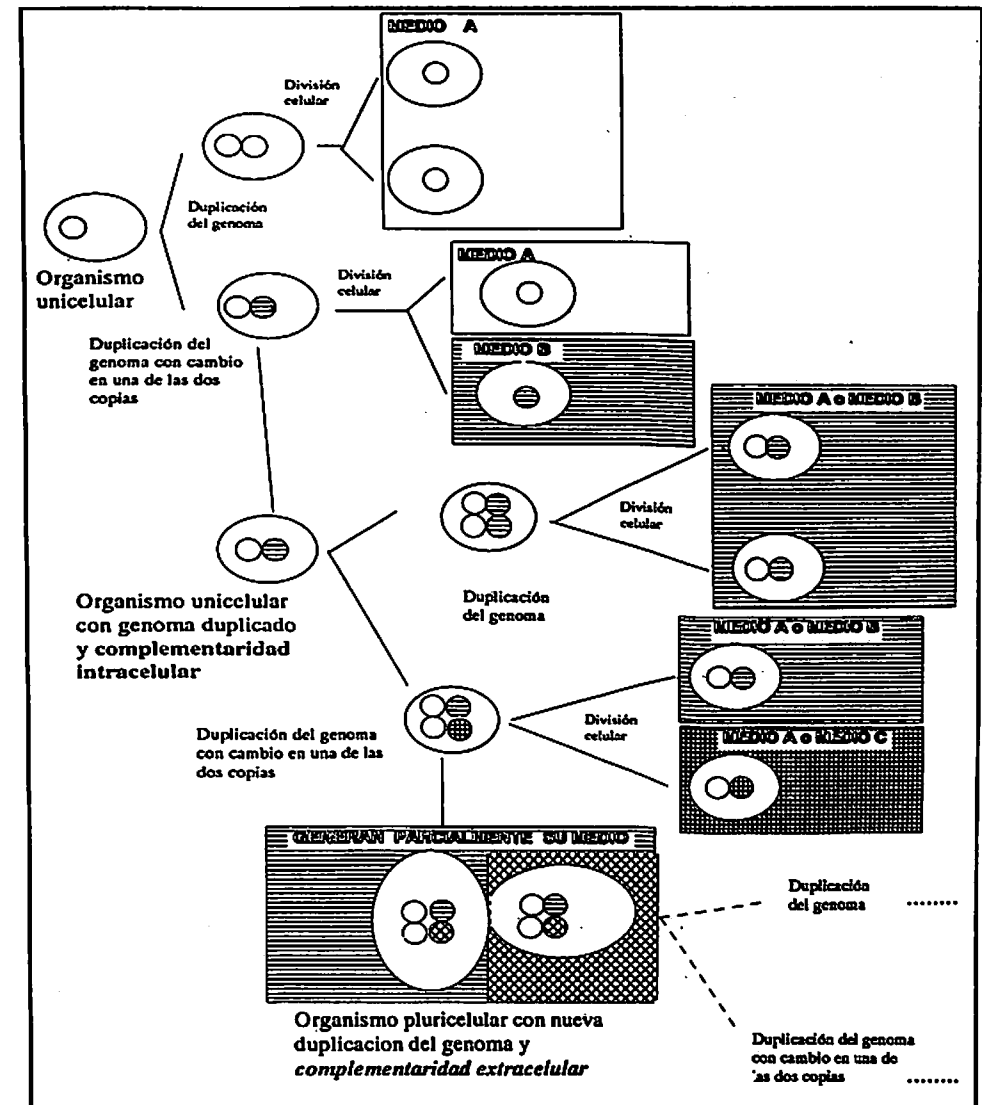


Figura No. 2. La evolución de los organismos pluricelulares se ha dado mediante duplicaciones sucesivas del genoma que permitieron la aparición de nuevas funciones con la posibilidad de utilizar otros recursos (MEDIO B). Al aparecer la complementariedad extracelular unas células pueden aprovechar recursos generados por otras del mismo organismo (MEDIO C). Esta asociación celular justifica el costo de replicar un genoma con duplicaciones sucesivas.

evolución temprana de los mecanismos de reparación evolucionados (los mecanismos prereplicativos) así como la represión de los mecanismos arcaicos.

DE COMO EL MODELO ESTRUCTURALISTA DE LA INFORMACION INTERPRETA LA EXISTENCIA Y EL MANTENIMIENTO DE LAS SECUENCIAS REPETIDAS EN LOS GENOMAS DE LOS EUCARIOTES

Los descubrimientos de los últimos 25 años han mostrado diferencias grandes entre la organización genómica de los eucariotes y los procariotes. En los genomas de los eucariotes se ha encontrado una gran cantidad de secuencias repetidas (intrones, secuencias intergénicas etc.), que no codifican para proteínas y cuya presencia ha suscitado muchas controversias (para revisión ver Jelinek, 1982). Gilbert, 1978, ha propuesto que la función de las secuencias repetidas (intrones) es de recombinarse entre ellas y de esta forma crear nuevas proteínas uniendo partes de las proteínas existentes (correspondientes a los exones). Como consecuencia de esta idea Gilbert propuso que los exones deberían corresponder a funciones proteínicas pero esto no pudo ser demostrado experimentalmente ya que por ejemplo las funciones catalíticas de la lisozima, carboxipeptidasa y las proteínas séricas resultaron ser codificadas por varios exones y no por uno solo (Blake, 1983). De acuerdo a la teoría estructuralista de la información los exones junto con los intrones adyacentes son identificados con los módulos primitivos que por duplicaciones sucesivas y alteraciones de las copias han resultado en proteínas más complejas. En algunos genes como los del colágeno y de la fetoproteína alfa todavía se pueden reconocer fácilmente las duplicaciones de un módulo original (Li, 1983). Muchos otros genes complejos han evolucionado también por duplicaciones sucesivas pero los módulos duplicados han divergido tanto que ya es difícil identificar la homología de las secuencias. Lo propuesto por Gilbert tiene implícita la idea que los procariotes fueron los primeros que aparecieron en la evolución y que las secuencias repetidas fueron introducidas más tarde para acelerar la evolución de los eucariotes. El hecho de que las Archaeobacteria contienen intrones (Kaine et al., 1983) contradice la idea de Gilbert y está de acuerdo con la propuesta de Blake (1983) de que los intrones fueron presentes desde el principio y con nuestra idea de que los intrones representan una onda portadora que ha sido perdida en la mayoría de los procariotes.

Otros autores (Doolittle, 1982; Orgel y Crick, 1982) proponen que el ADN repetido al no ser traducido a proteína y no poder ser seleccionado a nivel del fenotipo, se ha mantenido y multiplicado a través de parasitismo promovido por recombinación.

La existencia de las familias de genes está también de acuerdo con la propuesta sobre el origen de los organismos pluricelulares en la cual los nuevos tipos de células y nuevas funciones han aparecido mediante duplicaciones de los genes iniciales con la posibilidad de nuevas alteraciones que pudieron resultar en nuevas funciones. Un buen ejemplo es la mioglobina y las hemoglobinas (Li, 1983). La duplicación se dio hace 800 millones de años. La mioglobina quedó como el transportador de oxígeno en el tejido muscular y la hemoglobina

alfa representa la nueva función que es transportar el oxígeno en la sangre. Por nuevas duplicaciones aparecieron las hemoglobinas gama o fetal, la beta y la delta. Otro ejemplo, de las duplicaciones sucesivas que se han dado durante la evolución de los organismos son los genes de las actinas. La más antigua de estas proteínas parece ser la proteína de los microtúbulos, componentes del huso mitótico en eucariotes y del flagelo en bacterias. El gen de la actina del músculo parece haberse originado por una duplicación del gen de la proteína microtubular, ya que las composiciones aminoacídicas y las movilidades electroforéticas de las dos enzimas son muy similares. Nuevas duplicaciones genómicas han originado varios tipos de actinas (por lo menos seis en los vertebrados) que difieren en estructura y expresión según el tipo de tejido (Davidson et al., 1980).

La preocupación de Gilbert o de Orgel y Crick de explicar la existencia del gran número de secuencias que no codifican a proteína en los genomas de los eucariotes se debe a la idea implícita en el modelo clásico de la información genética de que el ADN es simplemente el transmisor y el almacenador de la información genética que sería manejada exclusivamente por proteínas. El modelo estructuralista de la información resalta el hecho de que el sistema informativo genético, de la misma forma que otros sistemas informativos, tiene consecuencias directas sobre el entorno y que las proteínas son solamente un mediador de este poder de trascender. Actualmente es bien conocida la capacidad de los ácidos nucleicos de replicarse no enzimáticamente (Sleeper y Orgel, 1979). También es conocida la capacidad de algunos ácidos nucleicos de producir solos, sin proteínas, rompimientos en lugares específicos como lo hace la parte de ácido ribonucleico (M1-ARN) de la ribonucleasa P, una ribonucleoenzima que cataliza la maduración de los precursores de los ARN de transferencia en *E. coli* (Guerrier-Takada y Altman, 1984). Las características nucleotípicas representadas por el volumen celular, el tiempo de duración del ciclo celular, de la meiosis y el tiempo mínimo generacional son otro ejemplo de como el ADN en sí mismo y no por intermedio de las proteínas puede influenciar en el entorno (Cavalier-Smith, 1980; Bennett, 1972).

La existencia de las secuencias repetidas está también en contradicción con la teoría neutral (Kimura, 1968) que propone que lo que predomina en la evolución es la fijación de mutaciones neutras por deriva genética. La tasa de fijación de esas mutaciones neutras debe ser inversamente proporcional a las restricciones funcionales de las respectivas secuencias. En consecuencia las secuencias repetidas, que no tienen restricciones funcionales ya que no codifican a proteína, deberían ser los lugares con mayor tasa de fijación de mutaciones neutras y por esto deberían ser muy heterogéneas y haber dejado de ser repetidas y monótonas. Con el modelo estructuralista de la información esta aparente contradicción es solucionada debido que estas secuencias tienen la función de ser el soporte de la información. Además, la actuación de las reparaciones arcaicas a nivel de estas secuencias, no disminuye la idoneidad de los organismos como ocurre a nivel de las secuencias informativas (donde borra la información), sino al contrario mantiene la monotonía de estas secuencias y su función que es contrastar la información.

La diferenciación celular: regulación de genes o lectura preferencial?

Todavía se sabe poco sobre el mecanismo mediante el cual se produce el desarrollo de un organismo multicelular a partir de una sola célula, el huevo fertilizado. Aunque todas las células de un organismo pluricelular contienen la misma información genética, cada etapa de diferenciación y cada tipo de tejido expresa genes diferentes. Esta expresión diferencial de genes se ha tratado de explicar por el modelo de regulación de genes propuesto por Britten y Davidson (1969). Este modelo representa otro intento de aplicar a la biología el modelo sobre los sistemas informativos de Shannon y Weaver (1963). En analogía con los elementos de los sistemas de comunicación humana ellos proponen cinco elementos: genes sensores, genes integradores, segmentos de ARN activadores, genes receptores y genes productores. Los genes sensores detectan la posición temporoespacial de la respectiva célula y se comunican con los genes integradores con lo cual se elegirá un cierto programa de desarrollo y se activarán los respectivos genes mediante los ARN activadores. En dicho modelo proponen partir de un estado de represión de los genes que serán activadas diferencialmente a través del desarrollo embrionario. Varios experimentos pusieron en duda esta teoría:

1. Perlman et al. (1977) mostraron que la variabilidad de los ARN transcritos disminuye a medida que avanza el desarrollo embrionario, lo contrario a lo esperado, si se parte de un estado de represión total del genoma y el encendido de genes se da a medida que el desarrollo avanza.
2. Los experimentos de trasplantes de núcleos en los huevos anucleados mostraron que a medida que aumenta la diferenciación de la célula donadora del núcleo, el número de trasplantes exitosos disminuye (Gurdon, 1974). Si en cada estadio de diferenciación la activación de genes se produce, según las coordenadas espaciotemporales de la respectiva célula, no se entiende por qué núcleos de células más diferenciadas no van a tener el mismo éxito que núcleos de células menos diferenciadas.
3. En los experimentos de transcripción de cromatina *in vitro* utilizando tratamientos con ARN-asa para eliminar el ARN asociado a la cromatina, en vez de encontrarse una disminución de la transcripción, así como se esperaba si la activación de genes se diera por los ARN activadores, se encontró un aumento de ésta (Bekhor et al., 1967).
4. El descubrimiento en *Drosophila* de las así llamadas mutaciones homeóticas (García-Bellido et al., 1979) parecía apoyar la teoría de regulación de genes ya que estas mutaciones eran identificadas como mutaciones en genes que seleccionan un cierto programa de desarrollo. Sin embargo, la predicción de esta teoría de que el cambio de un órgano por otro podría ocurrir en las dos direcciones no ha sido encontrada y siempre el cambio es hacia un arquetipo.

Consecuencia de estos fracasos experimentales fue la creación de nuevas versiones de la teoría de regulación de genes que suponen la existencia de complejos transcripcionales llamados «cerebros de genes inteligentes» que a manera de pequeñas computadoras intracelulares toman la decisión de cuáles genes

encender y cuáles apagar según las señales recibidas en cada momento (ver Beardsley, 1992). Es realmente inimaginable la complejidad de los requisitos que este modelo de informática clásica le impone al sistema de información genética para poder atribuirle las funciones de control requeridas para la diferenciación celular. Nos parece que si la naturaleza tuviera que obrar con una maraña de eventos tan complejos como nuestros sistemas de comunicación, se vería enfrentada a altos costos termodinámicos productores de gran número de pasos con errores posibles que fácilmente la llevarían a un bloqueo total. Con el modelo de regulación de genes la aparición de cada nueva función durante la evolución de los organismos no implicaría solamente la aparición de un nuevo gen estructural sino además la aparición simultánea de todo un grupo de genes de control.

Abandonemos estos modelos y miremos la posibilidad de la teoría estructuralista de información para explicar la diferenciación celular. A diferencia de las aplicaciones de las teorías clásicas de los sistemas informativos a la biología, en la cual ha habido una gran separación entre las teorías que tratan de explicar el origen de los organismos multicelulares y las que tratan la diferenciación celular, el acercamiento estructuralista explica los dos procesos y se basa en los siguientes supuestos:

1. Durante la evolución ha habido una aparición serial de funciones.
2. Existe una preferencia de lectura.

Las funciones derivadas de una función original han sido creadas añadiendo más alteraciones a la copia del gen original. Por esto cada nueva función corresponde a un aumento en la densidad de información (número de alteraciones a la onda portadora) en ese gen y los estadios más desarrollados corresponden a secuencias más informativas. De acuerdo al principio de la preferencia de lectura, un cristal más complejo, con más alteraciones tiene más dificultades en replicarse, en ser leído, que uno menos informativo. De esta forma la preferencia de lectura garantiza que cada nueva función será más difícil de leer que una previa. Con esto habrá una correspondencia entre la disponibilidad de un recurso y la posibilidad de leer el gen que lo utiliza. En consecuencia durante la diferenciación celular no se necesita buscar nuevos algoritmos para ordenar la aparición de las funciones. Ellas aparecerán en el mismo orden en que aparecieron durante la evolución de los organismos pluricelulares.

Las funciones primarias son las que aprovechan recursos más elementales y las de más fácil transcripción, digamos de prioridad uno en lectura. Las funciones que nacieron como una copia modificada de estas funciones primarias están casi siempre dirigidas a aprovechar un recurso o evento creado por las anteriores funciones y por lo tanto no pueden leerse hasta tanto no exista en el medio las condiciones para ello. Las células que se encuentran en el centro de una esfera están separadas de los recursos directos del medio, pero tienen una solución que es la segunda función que utiliza los recursos subproducto de la primera función. En este momento pueden empezar a expresar esta parte del genoma mien-

tras las células externas todavía están expresando la primera función. El ARN mensajero correspondiente a la función que ya no se está expresando, al no utilizarse en el citoplasma, puede ligarse al gen correspondiente e impedir así que se siga transcribiendo. Esto explicaría porque la eliminación del ARN en el experimento de Bekhor et al. (1969) aumenta la transcripción, contrario de lo que se espera con la teoría de regulación de genes. De otra parte el hecho de que en las mutaciones homeóticas el cambio no se da en las dos direcciones como era de esperarse con la teoría de regulación de genes, sino hacia un arquetipo, se puede entender con la teoría estructuralista de la información en la siguiente forma:

La evolución de los artrópodos, por ejemplo, se dio a partir de organismos primitivos como los lóbopodos formados por la repetición de segmentos iguales cada uno con un par de apéndices llamados parápodos. A través de la evolución se crearon diferencias entre estos parápodos. La antena por ejemplo, podría corresponder a la adición de nueva información a uno de estos parápodos repetidos. De esta forma la mutación «homeótica» Antennapedia podría representar pérdida de esta información llevando al retorno a una función previa (función de parápodo). La mutación contraria, el cambio de una pata por una antena, que sería lo esperado por la teoría de regulación de genes no ha sido observada. El trabajo de McGinnis et al. (1984) muestra que los genes que corresponden a las mutaciones homeóticas tienen muchas secuencias repetidas, comunes, y están dispuestas en los cromosomas en el mismo orden lineal que en los segmentos del cuerpo, lo que está de acuerdo con la idea de una onda portadora formada por la multiplicación del mismo segmento originario. El enfoque estructuralista de la diferenciación celular da consistencia al hecho conocido desde hace mucho tiempo: que la ontogenia repite la filogenia.

BIBLIOGRAFIA

- ALTHUSSER, L. (1965) Pour Marx. Librairie Francois Maspero. Paris
- AMES, B. N. (1979) Identifying environmental chemicals causing mutations and cancer. *Science*, 204: 587-593
- ARMENGOD, M. E., REBOLLO, J.E., COLLADO, M. P. & BLANO, M. (1982) Mecanismos de reparación S.O.S. En: *Genética molecular bacteriana*. Editorial Reverte, S. A.
- ARMSTRONG, J.D. y KUNZ, B.A. (1992) Excision repair and strand identity influence the specificity of UV mutagenesis in yeast. *Environmental and Molecular Mutagenesis*. Vol. 20, Suppl. 19, pp. 3
- BEARDSLEY, T. (1991) Genes inteligentes. *Investigación y Ciencia*. Nr. 181, pp. 76-85
- BEKHOR, I., KUNG, J. & BONNER, J. (1969) Specific interaction of DNA and chromosomal protein. *J. M. Biol.* 39: 351-365
- BENADO, M. B., AYALA, F. J. & GREEN, M. M. (1976) Evolution of experimental «mutator» populations of *Drosophila melanogaster*. *Genetics*, 82: 43-52
- BENNETT, M.D. (1972) Nuclear DNA content and minimum generation time in herbaceous plants. *Proc. R. Soc. Lond. B.*, Vol. 181, pp. 109-135
- BISHOP, J.M. (1983) Cellular oncogenes and retroviruses. *Ann. Rev. Biochem.*, 52: 301-354
- BLAKE, C. (1983) Exons-present from the beginning? *Nature*, Vol. 306, pp. 535-537
- BRITTEN, R. J. & DAVIDSON, E. H. (1969) Gene regulation for higher cells: a theory, *Science*, Vol. 165, pp. 349-357
- CARSON, H. L. (1964) Population size and genetic load in irradiated populations of *Drosophila melanogaster*. *Genetics*, 49: 521-528
- CAVALIER-SMITH, T. (1980) How selfish is DNA? *Nature*, Vol. 285, pp. 617-618
- CLEAVER, J. E. (1969) Xeroderma pigmentosum: a human disease in which an initial stage of DNA repair is defective. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 63: 428-435
- DAVIDSON, E. H., THOMAS, T. L., SCHELLER, R. H. & BRITTEN, R. J. (1980) The sea urchin actin genes, and a speculation on the evolutionary significance of small genes families. En: *Genome Evolution*. Editado por Dover, G. A. & Flavell R.B., Academic Press. London, New York
- DOOLITTLE, W. F. (1978) Genes in pieces: were they ever together? *Nature*, Vol. 272, pp. 581-582
- DOOLITTLE, W. F. (1982) Selfish DNA after fourteen months. En: *Genome Evolution*. Editado por Dover, G. A. & Flavell R.B., Academic Press. London, New York
- DUESBERG, P. H. (1983) Retroviral transforming genes in normal cells? *Nature*, 304: 219-226
- GARCIA-BELLIDO, A., LAWRENCE P. A. & MORATA, G. (1979) Compartments in animal development. *Sci. Amer.*, 241: 90
- GILBERT, W. (1978) Why genes in pieces? *Nature*, Vol. 271, pp. 501
- GOULD, S.J. & ELDREGE (1977) Punctuated equilibria: the tempo and mode of evolution reconsidered. *Paleontology* 3, pp. 115-151
- GRIGORIU DE BUENDIA, P. (1984) El papel de la reparación arcaica en la evolución y carcinogénesis. Ministerio de Gobierno.
- _____ (1987) La «onda portadora» de la información genética. Una visión informática de la genética evolutiva. *Evolución Biológica* 1: 335-341

- _____ (1991) DNA repair evolution and its consequences for oncogenesis molecular processes. *The American Journal of Human Genetics, Suppl.*, Vol. 49, pp. 453
- _____ (1992) Different strategies for maintenance of information in prokaryotes and advanced eukaryotes. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, Vol. 20, Suppl. 19, pp. 21
- GUERRIER-TAKADA, C. & ALTMAN, S. (1984) Catalytic activity of a RNA molecule prepared by transcription in vitro. *Science*, Vol. 223, pp.285-286
- GURDON, J. B. (1974) *The control of gene expression in animal development*. Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass.
- HALDANE, J.B.S. (1933) The part played by recurrent mutation in evolution. *Amer. Nat.*, Vol. 67, pp. 5-19
- JELINEK, W.R. (1982) Repetitive sequences in eukaryotic DNA and their expression. *Ann Rev. Biochem.*, Vol. 51, pp. 813-844
- KAINE B. P., GUPTA, R. & WOESE, C.R. (1983) Putative introns in tRNA genes of prokaryotes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, Vol. 80, pp. 3309-3312
- KELNER, A. (1949) Effect of visible light on the recovery of *Streptomyces griseus* conidia from ultraviolet irradiation injury. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, 35: 73-79
- KIMURA, M. (1968) Evolutionary rate at the molecular level. *Nature*, 217: 624-626
- KUHN, T. S. (1970) *The structure of scientific revolutions*. Second edition, enlarged. The University of Chicago Press.
- KUNKEL, T. A., SCHAAPER, R. M. & LOEB, L. A. (1983) Depurination-induced infidelity of deoxyribonucleic acid synthesis with purified deoxyribonucleic acid replication proteins in vitro. *Biochemistry*, Vol. 22, pp.2378-2384
- LI, W. H. (1983) Evolution of duplicate genes and pseudogenes. En: *Evolution of genes and proteins*. Nei, M. and Koen, R. K., Sinauer, Sunderland.
- MAHER, V. M. (1982)
Frequency of UV-induced neoplastic transformation of diploid human fibroblast is higher in *Xeroderma pigmentosum* cells than in normal cells. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, 79: 2613-2617
- McGINNIS, W., LEVINE, M. S., HAFEN, E., KUROIWA, A. & GEHRING, W. J. (1984) A conserved DNA sequence in homeotic genes of the *Drosophila Antennapedia* and *bithorax* complexes. *Nature*, 308: 428-433
- MISKIN, R. & BEN-ISHAI, R. (1981) Induction of plasminogen activator by UV light in normal and *Xeroderma pigmentosum* fibroblasts. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, 78: 6236-6240
- OHNO, S. (1970) *Evolution by gene duplication*. pp. 73. Springer-Verlag
- ORGEL, L. E. & CRICK, F.H.C. (1980) Selfish DNA: the ultimate parasite. *Nature*, Vol. 284, pp. 604-607
- PERLMAN, M. S. FORD, P. J. & ROSBASH, M. M. (1977) Presence of tadpole and adult globin RNA sequences in oocytes of *Xenopus laevis*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* Vol. 74, pp. 3835-3839
- RABKIN, S., MOORE, P.D. & STRAUSS, B. (1983) In vitro bypass of UV induced lesions by *E. coli* DNA polymerase I: Specificity of nucleotide incorporation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, Vol. 80, pp. 1541-1545
- ROCHE, H.M., GIETZ, R.D. & KUNZ B.A. (1992) Specificity of the antimutator due to elimination of the nonessential REV3 DNA polymerase in yeast. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, Vol. 19, Suppl. 20, pp.53

- RUIZ MEJIA, C. (1987) *Trampas de luz*. Editorial La ciencia desde México. Ciudad de Mexico
- SCHOPF, H. L. & OEHLER, D. Z. (1976) How old are the eukaryotes? *Science*, Vol. 193, pp. 47-49
- SETLOW, R. B. (1969) Evidence that *Xeroderma pigmentosum* cells do not perform the first step in the repair of ultraviolet damage to their DNA. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 64: 1035-1041
- _____ (1978) Repair deficient human disorders and cancer. *Nature*, 271: 713-717
- _____ & CARRIER (1964) The disappearance of thymine dimers from DNA: an error-correcting mechanism. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 51: 226-231
- _____ & SETLOW, K.J. (1962) Evidence that ultraviolet induced thymine dimers in DNA cause biological damage. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 48: 1250-1257
- SHANNON, C. E. & W. WEAVER (1963) *The mathematics Theory of Communication*. University of Illinois Press. Urbana and Chicago.
- SLEEPER, H. L. & ORGEL, L.E. (1979) The catalysis of nucleotide polymerization by compounds of divalent lead. *J. Mol. Evol.*, Vol. 12, pp. 357-364
- STANLEY, S. M. (1982) Macroevolution and the fossil record. *Evolution*, 36(3), 460-473
- WATSON, J. D. (1965) A geneticist's view of cancer. In: *Molecular biology of the gene*. W. A. Benjamin, Inc., New York
- WILECKE, K & R. SCHAFFER (1984) Human oncogenes. *Human Genetics*, 66: 132-142
- WITKIN, E. M. (1976) Ultraviolet mutagenesis and inducible DNA repair in *E. coli*. *Bacteriological Reviews*, 40(4): 869-907

La emergencia de la conciencia en un modelo computacional del cerebro

Por Carlos E. Vasco*

1. INTRODUCCION

Si hay algo holístico, aparentemente no reductible a componentes, es la conciencia. La conciencia que tenemos es continua, auto-transparente, inmediata, global, no localizada, intencional y personalísima.

Por supuesto que en un intento de reducción de la conciencia no se trata de reproducir la vivencia intuitiva que tenemos de ella; más bien se trata precisamente de disolverla, pero de tal manera que se conserve la plausibilidad de que esa disolución sí hace avanzar el conocimiento acerca de la conciencia, y de que al desmontar el sistema subyacente y volverlo a montar, se hacen más comprensibles las propiedades emergentes del nuevo sistema.

Los holistas lanzarán sus aullidos lastimeros, y dirán que eso no es la conciencia como ellos la perciben directamente. Pero esa es la típica reacción de los holistas contra los reduccionistas. Que el color rojo que ellos perciben no pueden ser las ondas electromagnéticas de esa frecuencia, etc. Pero eso no es lo que dice el reduccionismo: explica cómo es posible y cómo es inteligible a partir de otras entidades la propiedad emergente, sin negarla, por supuesto.

Por eso trataré de seguir paso a paso las posibilidades de que un artefacto computacional sea candidato a la emergencia de la conciencia; subrayo que hablo

* Universidad Nacional de Colombia.

con cautela de «artefactos computacionales», sin precisar qué tipo de artefacto es, cuáles son los materiales que soportan la implementación, qué tipo de computación rige el funcionamiento del artefacto (si es secuencial o paralelo masivo, neural, etc.) y subrayo también que hablo de meros «candidatos a la emergencia de la conciencia».

La inspiración para estas ideas viene de Douglas Hofstadter y Daniel Dennett, especialmente de los libros «Gödel-Escher-Bach» del primero; «The Mind's I» editado por ambos; «Brainstorms» y «The intentional stance» del segundo. No he leído aún el último libro de Dennett, que se refiere a este mismo tema de la conciencia.

La idea general es precisar en qué sentido y por qué mecanismos se puede decir en forma no vacía (se entiende «vacía» al estilo vacío en que con frecuencia habla Mario Bunge), que la conciencia «es una propiedad emergente de los sistemas complejos». ¿Qué tipo de propiedad emergente? ¿Por qué no emerge en todos los sistemas complejos? ¿Si emerge, por qué emerge? Las respuestas a esas preguntas permitirían hablar en forma no vacía de la emergencia de la conciencia.

2. REQUERIMIENTOS DEL PROCESADOR CENTRAL

Enuncio en primer lugar lo que considero debe ser la mínima dotación de un artefacto computacional que sea candidato a la emergencia de la conciencia:

Debe tener en primer lugar una buena batería de memorias de largo, mediano y corto plazo, que son «compresores de pasado» o «retenedores de pasado».

Debe tener dispositivos combinatorios y proyectivos que hagan el papel de la imaginación y la fantasía, que son «anticipadores de futuro» o «proyectores de futuro». Sin estos dos tipos de componentes no habría dimensión temporal en el flujo de conciencia, ni recuerdo, anticipación e intencionalidad.

El artefacto debe estar provisto al menos de dos tipos diferentes de sensores exteroceptivos (percepción multi-canal), y de una batería de sensores propioceptivos.

Parece también necesario que el artefacto pueda influir directamente sobre su medio externo, a través de por lo menos dos tipos distintos de efectores, conectados a su vez a sensores exteroceptivos y propioceptivos que le permitan recibir realimentación o «feed-back» de sus actuaciones sobre el medio.

Estos sensores activan indicadores de estado, que dejan trazas en memorias específicas de diagnóstico de estados externos e internos. Estos indicadores de estado son a su vez leídos por meta-sensores, los cuales activan meta-indicadores de estado, o indicadores-resumen que se ubican en memorias específicas para ellos o meta-memorias. Parece esencial que exista este «segundo piso» o nivel «meta-» de sensores, indicadores y memorias, para que el artefacto sea candidato a la emergencia de la conciencia.

3. CONCEPTOS PREVIOS

Resumo en seguida las descripciones de algunos conceptos de la informática y de la física de los movimientos periódicos, que utilizaré en el acercamiento a la emergencia de la conciencia en un artefacto computacional.

3.1. Ciclo operativo:

Subproceso secuencial que se repite en forma semejante cada vez, dentro de un proceso secuencial macro.

Así pues, dentro de un proceso secuencial P, conformado por una sucesión de operaciones, se da una cierta segmentación, de manera que puede quedar al comienzo un «transiente» T compuesto por m operaciones iniciales, y luego empieza a repetirse el segmento K de longitud k, por ejemplo n veces. Así, el proceso P se «factorizaría» así:

$$P = TK^n$$

(El número total de operaciones del proceso P sería pues $m + nk$)

Se podría debilitar la repetición exacta de segmentos iguales a K, tomando segmentos K, K', K'', etc., con una función de «parecido» con K más débil que el isomorfismo. Esos segmentos parecidos conformarían el ciclo operativo de longitud k.

3.2. Frecuencia de reciclaje, ν :

Número de veces que se repite el ciclo operativo en una unidad de duración, por ejemplo el segundo: [nu] ciclos por segundo (herz).

3.3. Período de reciclaje, τ , o período del ciclo:

Duración de un solo ciclo completo K: $\tau = 1/\nu$

Ejemplos: Los «chips» de los microcomputadores actuales operan a frecuencias que pasan de diez megahertz (10 Mh), con períodos de 100 nanosegundos (100 ns). Cuando lleguen a 100 Mh, el período será de 10 ns, tiempo en el cual la luz sólo recorre unos 3 metros.

Los supercomputadores Cray ya pueden funcionar a 1 Gigahertz, con períodos de 1 ns; la luz sólo recorrería unos 30 cm en ese tiempo. Si llegan a 100 Gigahertz, el período sería de 10 picosegundos (10 ps), tiempo en el cual la luz sólo recorrería tres milímetros. Una señal que va de un componente a otro situado a medio centímetro, llegaría casi dos ciclos demasiado tarde.

3.4. Pulso de reloj (clock pulse)

Se supone que un computador tiene un reloj que emite pulsos igualmente espaciados a cierta frecuencia ν_c , con cierto período τ_c . (Ver Figura 3.1).

Si el ciclo K tiene k operaciones, $k \cdot \tau_c$ es el valor mínimo del período de reciclaje τ .

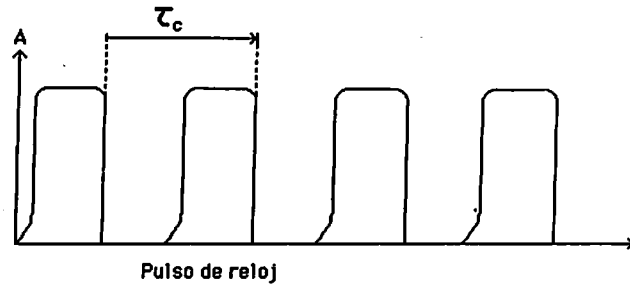


Figura 3.1

3.5. Activación

Cuando una perturbación interna o externa de los procesos internos surge en un momento dado, podemos suponer que llega una señal a un cierto centro que puede iniciar una nueva fase de procesamiento. Esa señal que excita ese centro puede llamarse «impulso activador». Si la suponemos en forma de campana, podemos distinguir en ella, además del tiempo o duración total, el tiempo o duración efectiva. (Ver Figura 3.2).

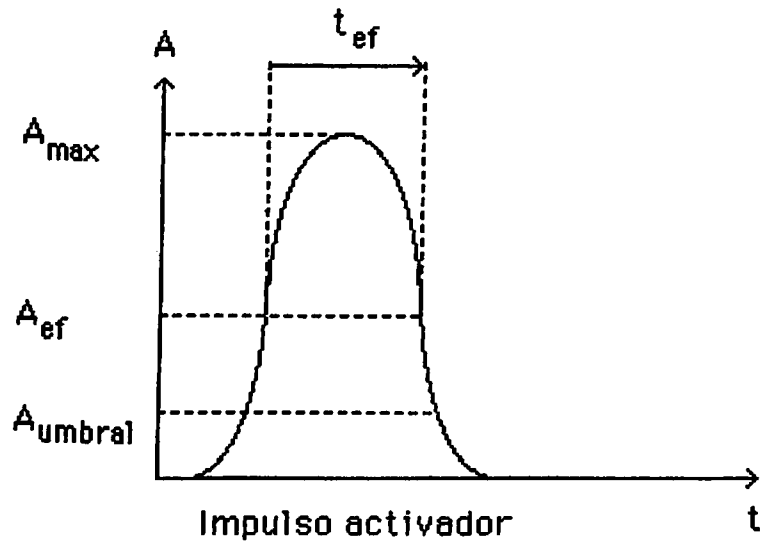


Figura 3.2

Suponemos que hay un cierto umbral mínimo, por debajo del cual las fluctuaciones de las señales potencialmente activadoras no alcanzan a activar el centro. Pero aun después de superar ese umbral de amplitud, A_{umbra} , se suele considerar que la señal tiene que llegar a cierta amplitud efectiva, A_{ef} , para la cual se toma como punto de corte aproximadamente la tercera parte (en realidad $1/e$, en donde e es la base de los logaritmos neperianos, aproximadamente 2.71828, con lo que $1/e$ es aproximadamente 0.368) de la diferencia entre la amplitud máxima y la amplitud de umbral que alcanza a producir activación:

$$A_{\text{ef}} = A_{\text{umbra}} + (1/e)(A_{\text{max}} - A_{\text{umbra}}).$$

El tiempo efectivo o duración efectiva t_{ef} del impulso activador es pues el tiempo durante el cual la amplitud de dicho impulso supera la amplitud efectiva. (Ver Figura 3.2). Si este tiempo efectivo es muy corto, es posible que no haya activación de la respuesta por encima de la barrera efectiva.

3.6. Respuesta

Ante el estímulo del impulso activador, el centro de procesamiento reacciona activándose a su vez para producir su respuesta. En ese tiempo o duración total de activación del centro podemos distinguir distintos tiempos o duraciones (ver Figura 3.3):

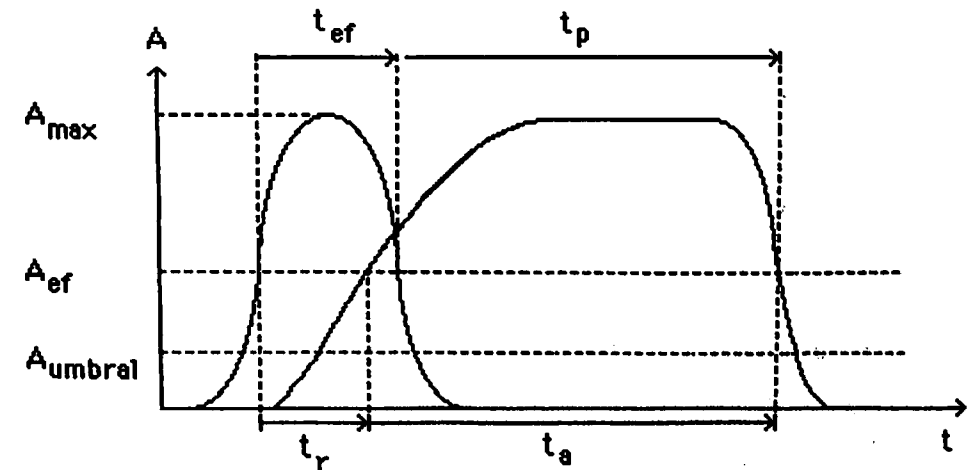


Figura 3.3

- a. El tiempo de activación (efectiva) t_{ef} , desde que la activación del centro supera la barrera efectiva, hasta que la vuelve a cruzar al desactivarse.
- b. El tiempo de retardo de activación t_r , que va desde que el impulso activador supera la barrera efectiva hasta que la activación del centro la supera.

c. El tiempo de persistencia t_p , desde que el impulso activador vuelve a cruzar la barrera efectiva al atenuarse, hasta que la activación del centro vuelve a cruzar su barrera efectiva al desactivarse. El factor más importante para la emergencia de la conciencia va a ser este tiempo de persistencia, durante el cual el centro activado continúa activo después de la extinción efectiva del impulso activador. Si el tiempo efectivo del impulso activador es lo suficientemente largo, es posible que el tiempo de persistencia sea más largo que el tiempo de activación efectiva (ver Figura 3.4).

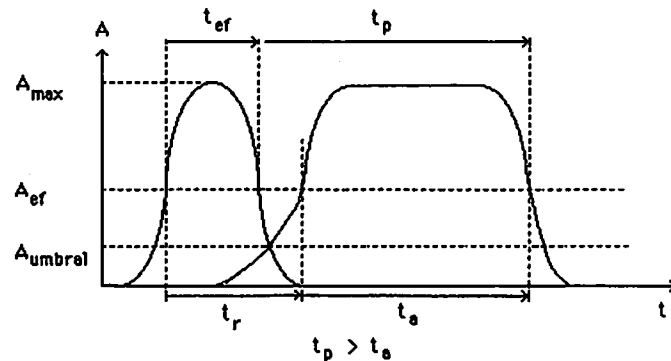


Figura 3.4

Analicemos por un momento el ejemplo del cine:

Si la película pasa a 24 cuadros por segundo, cada ciclo de proyección de un cuadro duraría unos 40 milisegundos

Si el obturador está cerrado durante 10 ms para que no se vea correr el cuadro, y si la activación del pulso de luz dura otros 5 ms, quedan 25 ms de activación. Pero debido a la velocidad de reacción de nuestra retina, y al tiempo de persistencia de las imágenes en ella, no se alcanzan a ver los 15 ms de oscuridad.

Pero si la película se proyecta a sólo 16 cuadros por segundo, o el obturador es más lento, por ejemplo de 20 ms, ya el ojo normal detecta un fuerte parpadeo de la imagen.

3.7. El ciclo de monitoría K_m , con su período T_m y su frecuencia ν_m .

Durante este ciclo, el artefacto computacional revisa todos los indicadores de estado y vuelve a empezar.

Al recorrer el ciclo de monitoría, va dejando activados unos indicadores de resumen de estado, unos comparadores y unos indicadores de alerta (si el indicador de estado revela un estado con un parámetro superior o inferior a ciertos valores preestablecidos).

3.8. El ciclo de meta-monitoría, K_{mm} , con su período T_{mm} y su frecuencia ν_{mm} .

Se inicia un ciclo de meta-monitoría que revisa los indicadores de resumen y las memorias de corto plazo (con las trazas de los retenedores y los proyectores), con un período que es una fracción exacta del período del ciclo de monitoría.

4. TESIS PRINCIPAL

La conciencia puede emerger como estado auto-transparente cuando el tiempo de persistencia de los meta-indicadores y de las memorias de corto plazo es igual o mayor que el período del ciclo de meta-monitoría.

En otras palabras, el tiempo de persistencia de las memorias tiene que ser mayor que el período de los meta-indicadores, lo cual crea una ilusión de continuidad en la conciencia. Comparando lo que sucede en el ejemplo del cine, al ser menor el período del obturador que el tiempo de persistencia de la retina, se crea la ilusión de la continuidad del movimiento; en nuestro caso, al ser menor el período de reciclaje de los meta-indicadores que el período de activación de los mismos, se crea la ilusión de la continuidad de la conciencia.

5. CONSECUENCIAS

Esta concepción permite diseñar, y en el futuro permitirá construir, artefactos computacionales que sean buenos candidatos a la emergencia de la conciencia.

Permite también diseñar programas de investigación sobre localizaciones cerebrales, duraciones y supresiones de los indicadores de estado, de los ciclos de monitoría y de los de meta-monitoría.

Ella explicaría la continuidad de la conciencia (como se explica la continuidad del movimiento en cine o televisión). Como se observó arriba, sería mejor decir: «la ilusión de la continuidad del movimiento», y en este caso, «la ilusión de la continuidad del flujo de conciencia».

Permitiría explicar ciertos desmayos o vahidos, y ciertos cortes del flujo de conciencia («blanks»).

Permitiría explicar el sueño como supresión de los ciclos de monitoría innecesarios y de todos (o casi todos) los de meta-monitoría.

Permitiría explicar evolutivamente cuáles monitorías nunca llegaron a la conciencia, o se apartaron de la conciencia, por ser inconvenientes para la especie a largo plazo. Por ejemplo, las ballenas tienen que ser concientes de la orden de respirar que el cerebro da a los pulmones. Pero para un humano, el reflejo de cierre del párpado llegaría demasiado tarde si tuviera que ser monitoreado.

Permitiría explicar por qué el inconciente tiene que ser mucho más amplio que el conciente: No se podría dedicar mucha capacidad de procesamiento a las monitorías, pues no habría tiempo para lo más importante.

Mostraría finalmente la necesidad de una localización central unificada, y en un volumen relativamente pequeño, de los mecanismos computacionales del artefacto candidato a la emergencia de la conciencia. Por ejemplo, un nanosegundo permite unos 30 cm de recorrido a la señal más rápida.

Midiendo la velocidad de transmisión bioeléctrica en los axones, y la frecuencia máxima de trabajo, se puede calcular el tamaño máximo viable y tal vez el tamaño óptimo del cerebro de un organismo conciente. (Piénsese por ejemplo que hay indicios fósiles de que el cerebro del «homo sapiens sapiens» es un poco menor que el de algunos de sus antecesores ya extinguidos).

6. CONCLUSION

He bosquejado pues la dotación mínima y las condiciones mínimas de duración de los ciclos de monitoría y meta-monitoría que permitirían que un artefacto computacional fuera un candidato prometedor para la emergencia de la conciencia. Evolutivamente se ha dado esa acumulación de «hardware» y esa velocidad de procesamiento, hasta producir conciencia al menos en algunos mamíferos, en los primates y en el hombre. La reconstrucción de esas etapas a través del diseño y construcción de artefactos que puedan acercarse a la complejidad necesaria y a la velocidad de procesamiento necesaria para la emergencia de la conciencia, es ahora una tarea científica bien delimitada, bien relacionada con otros campos del saber, y altamente prometedora.

Terapia sistémica: elementos de teoría y práctica

Eduardo Villar Concha

El campo de la psicoterapia estuvo impregnado por el psicoanálisis durante la primera mitad del presente siglo, siempre centrando la pregunta en el individuo, su conducta, su enfermedad y su curación. Desde su nacimiento, la psicoterapia estuvo influida por el quehacer médico, con un pensamiento lineal, de búsqueda de la relación causa-efecto, en las diferentes situaciones para entender, como la forma predominante de dar una explicación dentro de una epistemología que conduce a buscar una patología, un diagnóstico, y un tratamiento específico para la alteración o enfermedad descrita.

La psicoterapia, lo mismo que la psiquiatría, nació en un manicomio, en La Salperiere, de un diagnóstico, de la historia y de un tratamiento individual, la hipnosis. Este recorrido ha interesado al quehacer psicoterapéutico y en especial al psicoanalítico durante este siglo.

Por su parte la psiquiatría, en su mirada bioquímica se ha empeñado en buscar "causas" que expliquen la conducta humana, y en especial, las llamadas desviaciones o patológicas, en sustancias existentes, ausentes, aumentadas, modificadas, disminuidas, o en el mal funcionamiento de componentes celulares, manteniendo el dualismo mente-cuerpo.

Con el rótulo de Esquizofrenia -inventado en 1908-, se ha tratado de dar razón a un sinnúmero de conductas que han atraído la mirada de muchos científicos y terapeutas, buscando en el individuo la razón y la causa de dicha patología. En la década de los años 50, un grupo de investigadores dentro de los cuales se encontraba el antropólogo inglés Gregory Bateson, decide mirar la vida madre-hijo, en búsqueda de un entendimiento desde la perspectiva de las formas en que ocurre la comunicación, y en especial en aquellas vidas en que uno de ellos (el hijo) está diagnosticado de esquizofrénico.

Algunos de los momentos más importantes en la construcción de la terapia sistémica se inician, con las ideas de Gregory Bateson, en su segunda etapa de trabajo como investigador, cuando se interesó de manera especial por el tema de la comunicación e influyó grandemente en el trabajo que desarrolló Paul Watzlawick, quien publicó una obra fundamental, en 1967 con el título de "Teoría de la Comunicación Humana". En esta obra, Watzlawick plantea varios conceptos básicos que fueron utilizados por los investigadores que conforman el campo teórico y práctico de la Terapia Sistémica.

1. Es imposible no comunicar
2. "Toda comunicación tiene un aspecto de contenido y un aspecto relacional, tales que el segundo clasifica al primero y es por ende una metacomunicación".

Hace énfasis en que "el aspecto relativo al contenido se transmite en forma digital y el aspecto relativo a la naturaleza de la relación en forma predominantemente analógica".

3. "La naturaleza de una relación depende de la puntuación de las secuencias de comunicación entre los comunicantes".
4. "Los seres humanos se comunican tanto digital como analógicamente. El lenguaje digital cuenta con una sintaxis lógica sumamente compleja y poderosa, pero carece de una semántica adecuada en el campo de la relación, mientras que el lenguaje analógico posee la semántica pero no una sintaxis adecuada para la definición inequívoca de la naturaleza de las relaciones".
5. "Todos los intercambios comunicacionales son simétricos o complementarios, según que estén basados en la igualdad o en la diferencia".

En forma brillante Watzlawick relaciona las diferentes formas de comunicación con los así llamados trastornos de la conducta y crea un marco de referencia para entender las conductas consideradas como enfermedad mental y en especial la llamada esquizofrenia, la cual describe como "inmersa en el dilema de comunicarse y negar que se comunica al mismo tiempo". Se comportan como si trataran de negar que se comunican y luego encuentran necesario negar también que esa negatividad constituye en sí misma una comunicación.

Introduce además la idea central para todo el desarrollo teórico y práctico de la terapia sistémica de que "El Síntoma" es una forma de comunicación, un mensaje que cobra sentido al entender los patrones de comunicación que organizan al sistema donde éste surge.

En 1955, Bateson presenta su Teoría del Doble vínculo en una reunión -en la que participaban importantes investigadores y terapeutas como Don D. Jackson, John Rosen, Carl Whitaker,... y otros, después de ocho años de reuniones para intercambiar ideas con respecto al diagnóstico y tratamiento de pacientes llamados esquizofrénicos- dijo "... los pacientes diagnosticados dentro de cual-

quiera de los diferentes síndromes de la enfermedad llamada esquizofrenia presentan una distorsión del proceso de comunicación... no son capaces de reconocer la diferencia entre comunicación y comunicación sobre la comunicación, o metacomunicación..." ...¿cómo podría alguien construir un individuo que tuviera ésta dificultad particular en su vida? Yo lo construiría sometiéndolo a lo que en nuestro proyecto llamamos "doble-vínculo" o "mensaje contradictorio". Con esto quiero decir una secuencia de experiencias tales que si él resuelve un problema de relación humana en el nivel en que aparentemente le es ofrecida, esa solución constituirá una equivocación en otro nivel. Haber resuelto un problema en cierta esfera significa *ipso facto* haberlo creado en alguna otra".

Lynn Hoffam, importante terapeuta sistémica describe los "ingredientes básicos" para la creación de un doble vínculo de la siguiente forma:

1. Una orden negativa primaria: "No hagas eso".
2. Una orden negativa secundaria a otro nivel, que entra en conflicto con el primero: No atiendas a nada de lo que digo: (quizás dada por el tono de voz o el modo de hablar).
3. Una orden que prohíbe todo comentario (generalmente claves no verbales que refuerzan reglas que ya no es necesario explicitar) y otra que prohíbe a la persona abandonar el campo (a menudo dada por el contexto, como cuando la persona es un niño).
4. Una situación que parece de importancia para sobrevivir, por lo que es vital que la persona discrimine correctamente entre los mensajes.
5. Una vez establecida una pauta de comunicación que contenga estos elementos, sólo se necesita un pequeño recordatorio de la secuencia original para producir una reacción de pánico o de ira.

Otro paso fundamental en la construcción de la epistemología de la terapia sistémica, fue la incorporación del llamado pensamiento circular, que desplazó la concepción lineal preponderante. Se tomó conciencia de la dificultad impuesta por el lenguaje que necesariamente es lineal y por la imposición impuesta desde él en algunas descripciones (por ejemplo deprimido, está deprimido, muestra depresión, etc., crea realidades diferentes en cada descripción). Con esta idea se atiende el llamado de Bateson para comprender el mundo de las formas vivas no solamente en términos de fuerza, sino también incluyendo los conceptos de información y relación.

"Las descripciones newtonianas clasifican una pieza de acuerdo con atributos y características inherentes a ella. Las descripciones recurrentes definen una pieza en términos de su relación con otras piezas".

La hija de Bateson, Mary Catherine, describe este entendimiento así: "Quedé totalmente fascinada, y aún lo estoy, con el descubrimiento de que cuando se emplea el lenguaje correctamente para describir una planta en flor se dirá que

una hoja es un órgano lateral en un tallo que se caracteriza por tener un capullo a saber, un tallo "bebé" en el eje. Así, las definiciones se volvieron: un tallo es lo que sostiene hojas, y una hoja es lo que tiene un tallo en el ángulo; y lo que está en el ángulo de la hoja es un tallo "bebé" y así sucesivamente".

Durante la década de los años 50' se desarrollaron dos importantes campos de reflexión y de estudio que se sumaron a lo anteriormente descrito: el trabajo de L.V. Bertalanffy con el desarrollo de la Teoría General de Sistemas, y el trabajo de N. Wiener y H.V. Foerster con la cibernética.

La idea central de Bertalanffy gira alrededor del concepto de complejidad organizada. El modelo desarrollado a partir de esta nueva perspectiva, supone la existencia de una jerarquía de niveles de organización, cada uno más complejo que el anterior; cada nivel tiene propiedades que no existen en el nivel anterior.

Todo organismo es un sistema, esto es un orden dinámico de partes y de procesos en interacción mutua. Bertalanffy desarrolló la idea de sistema como un conjunto de elementos más sus relaciones, en interacción, "el todo es más que la suma de las partes"; y lo aplica a los diferentes órdenes por estudiar: las matemáticas, la física, la biología, lo social..., y los considera como sistemas. "Los límites de un sistema son en última instancia dinámicos", y lo determina el observador. Todo esto permitió conceptualizar la familia como un sistema, y desarrollar ideas acordes con la nueva conceptualización.

Para Heinz von Foerster "la circularidad es el principio subyacente de la cibernética, ya se trate de los sistemas observantes, o de la cibernética del observar sistemas". En un trabajo sobre la relación de las ideas de von Foerster y la terapia sistémica, Marcelo Pakman dice: "el contacto con Wittgenstein, afianzaría aún más su interés por la articulación rigurosa entre ciencia, lógica y filosofía, y su atención por el lenguaje. Estas influencias múltiples lo llevarían a un interés temprano en los procesos mentales, justamente porque, como él ha dicho, le interesaba la física. De esa época proviene su entendimiento de que, si a uno le interesaba la naturaleza de los objetos, es importante recordar que los objetos no "están simplemente allí", y que las leyes de la naturaleza tampoco "están simplemente allí". Ambos aparecen, emergen y es fundamental preguntarse cómo es que aparecen. Entonces es que tomamos conciencia de que nosotros estamos envueltos en esa aparición y, por necesidad, de que nuestra atención debe ocuparse también de los procesos mentales que los generan. La física, según von Foerster, se estudia "desde adentro" de la experiencia, y la pregunta por las leyes de la naturaleza está inevitablemente ligada a la pregunta sobre la emergencia de las leyes de la naturaleza, y éste es un problema social".

Las nociones centrales de la cibernética: circularidad, recursividad, información, retroalimentación, meta, regulación, etc., así como las nociones conexas que habían sido incorporadas a la red conceptual de la disciplina: como orden, organización, azar, ruido, etc., comenzaron a usarse para la comprensión de sistemas auto-organizadores, biológicos y sociales, con especial atención a su autonomía y a los fenómenos de auto-referencia implicados; además de nue-

vos vínculos que se fueron tejiendo con otros científicos como Bateson, Watzlawick, Bertalanffy, y en la actualidad con Humberto Maturana, quien ha contribuido al desarrollo de la terapia sistémica constructivista.

Las ideas del biólogo chileno Humberto Maturana deben ser objeto de una exposición y análisis más detallado, pues su campo de influencia y repercusión rebasan el propósito de estas notas y el de la terapia familiar sistémica estrechamente vinculadas a nuestro quehacer cotidiano como terapeutas.

Algunas de sus ideas centrales son:

1. Todo lo dicho, es dicho por un observador a otro observador, que puede ser él mismo. Es claro, como lo subraya von Foerster, que en esta afirmación aparecen tres conceptos fundamentales: 1. El concepto de observador caracterizado por su capacidad de hacer descripciones. 2. El concepto del lenguaje es, a través del lenguaje como los dos observadores se conecta "dos observadores constituyen el núcleo elemental de una sociedad". 3. El concepto de sociedad.
2. El observador: "Cualquier ser humano, que al operar en lenguaje con otros seres humanos, participa con estos en la constitución de un dominio de acciones coordinadas como un dominio de distinciones, y que puede, de este modo, generar descripciones y descripciones de descripciones".
3. Distinciones: "Un observador hace distinciones a través de operaciones en las coordinaciones de coordinaciones de acciones que constituye el lenguaje, que dividen un continuo y producen entidades como unidades distinguibles o enteras, especificándolas tanto como al transfondo en el que existen: El observador haciendo distinciones de distinciones, y surge como producto de sus propias distinciones en la recursión de éstas que distinguen al que distingue".
4. Unidades: "Nosotros los seres humanos en la vida cotidiana, como observadores distinguimos dos tipos de unidades: unidades simples y unidades compuestas. Distinguimos una unidad simple cada vez que traemos a la mano una entidad en la que no distinguimos componentes, y que de este modo queda caracterizada sólo por las propiedades con las cuales aparece dotada por la operación de distinción que las origina. Distinguimos una unidad compuesta cuando distinguimos una unidad simple en la que llevamos a cabo operaciones adicionales de distinción, que traen a la mano unidades adicionales que, al ser distinguidas, quedan especificadas como componentes en relación con la unidad simple que integraban antes de su descomposición. Por lo tanto, un componente existe como tal sólo en relación con la unidad compuesta que contribuye a construir (integrar) como una totalidad que se puede distinguir como unidad simple (continuo) de un tipo particular. Así como las propiedades o características de una unidad compuesta resultan de su modo de composición, es decir, de su organización y estructura".

5. Organización: "Las relaciones entre los componentes que definen a una unidad compuesta como una unidad simple de un tipo dado, constituyen su organización. Por lo tanto, la organización de una unidad compuesta define su identidad de clase, y se conserva como un conjunto de relaciones invariantes mientras se conserve su identidad de clase. Si cambia la organización de una unidad compuesta, cambia la identidad de clase de la unidad compuesta y la unidad original se desintegra".
6. Estructura: "Los componentes y las relaciones entre los componentes que componen una unidad compuesta particular como unidad compuesta de un tipo particular, constituyen su estructura. Las relaciones que constituyen la organización de una unidad compuesta se realizan como un subconjunto de las relaciones que se realizan en su estructura, la que incluye más relaciones que las de la organización.

Por esta razón, en tanto que la conservación de la identidad de clase de una unidad compuesta implica la conservación de su organización, no implica la conservación de su estructura. De hecho, la estructura de una unidad compuesta particular puede cambiar sin que ésta pierda su identidad de clase y esto puede pasar ya sea a través de cambios en las características de los componentes de la unidad compuesta (si éstas son en sí también unidades compuestas), o a través de cambios en sus relaciones, y esto se puede producir en forma episódica o recurrente en tanto se conserve la organización de la unidad. Si la organización de la unidad compuesta no se conserva en el curso de sus cambios estructurales, ésta se desintegra y otra unidad u otras unidades aparecen en su lugar".

7. Autopoiesis: "Un sistema autopoietico, es un sistema organizado (definido como una unidad) como una relación de proceso de producción (transformación y destrucción) de los componentes que producen los componentes que: a. a través de sus interacciones y transformaciones, continuamente regeneren y realizan la red de procesos (relaciones) que ellos producen; b) Esto constituye (el sistema) como una unidad concreta en el espacio en que ellos (los componentes existen mediante la especificación en el dominio topológico de su realización como parte de una red de relaciones".
8. Objetividad sin paréntesis (Objetividad) entre paréntesis. Al hacer la pregunta por el observador en la praxis del vivir, que opera con un sistema nervioso cerrado operacionalmente, entendemos que lo descrito no tiene existencia independiente del observador. Por lo tanto no podemos hablar de una Objetividad con mayúsculas, como única, ni de un Universo. Debemos hablar de la (objetividad) entre paréntesis y de un multi-verso.
9. Lo humano se constituye en el Lenguaje.
10. Lo psíquico se constituye en la relación (es social como decía Bateson. "No es fácil aceptar que lo humano no se da en la interioridad corporal, aunque depende de ella y existe únicamente en ella, sino en la dinámica de relación..".

"La vida psíquica es nuestro modo de vivenciar nuestro espacio relacional, como seres humanos, y éste vivenciar nuestro pasa por nuestro conversar, sobre nuestro vivir en el conversar".

Quiero mencionar finalmente, en forma muy breve, el trabajo desarrollado por los comunicadores Vernon Cronen y W. Barnett Pearce. Ellos han elaborado una teoría sobre la comunicación conocida con el nombre El Manejo Coordinado del Significado, CMM, (Coordinated Management of Meaning). Esta teoría considera la comunicación humana como un complejo proceso interactivo, en el que los significados son generados, mantenidos o cambiados a través de la interacción recursiva entre seres humanos. No se toma la comunicación como un simple proceso lineal de transmisión de mensajes de un emisor activo a un receptor pasivo; es un proceso circular e interactivo de co-creación por parte de los participantes implicados.

Apoyados en el trabajo de Bateson sobre los niveles de comunicación y la aplicación que hace de la teoría de los tipos lógicos de Russel, sugieren el concepto de marcadores de contexto, como aquel nivel que de la forma o norma con la cual el mensaje o episodio debe ser interpretado; proponen seis niveles o contextos como una propuesta para elaborar, cambiar, aumentar..., nunca como algo estático e inflexible; que interactúan en forma dinámica y circular, de forma tal que un nivel de significado pueda ser modificado por la influencia de otro cualquiera de los niveles de significado o marcadores de contexto.

Son estos algunos de los elementos fundamentales que han dado origen a una nueva y diferente forma de concebir, conceptualizar y hacer terapia. Varias han sido las escuelas que se han desarrollado bajo estos conceptos: Terapia Estructural, desarrollada por el médico psicoanalista Salvador Minuchin; Terapia Estratégica, desarrollada por el psicólogo Jay Haley; Terapia Ecosistémica, por el médico Steve de Shazer... pero quiero detenerme en el grupo llamado Terapia Sistémica de Milán por varias razones; es la que más conozco, estamos desarrollando trabajos conjuntos, y pertenecemos al mismo campo conceptual constructivista que he descrito.

El grupo original de Milán estaba compuesto por cuatro médicos psicoanalistas: "Mara Selvini Palazolli, Giuliana Prata, Luigi Boscolo, y Gianfranco Cecchin, quienes decidieron buscar nuevas formas de trabajo especialmente con las familias que tenían un miembro diagnosticado como esquizofrénico, debido a lo largo y poco productivo para la familia del proceso de terapia centrado en la conceptualización psicoanalítica. Después de estudiar la obra de Gregory Bateson y de Paul Watzlawick, resolvieron crear un nuevo médico que describieron inicialmente en su libro "Paradoja y Centra-Paradoja. Un nuevo modelo para el tratamiento de las familias en transacción esquizofrénica". Sus conclusiones y propuestas, dieron origen a nuevos desarrollos, al cual han contribuido en forma muy especial Humberto Maturana, Peter Lang, Karl Tomm, Barnett Pearce..., en la actualidad se le conoce como Terapia Sistémica Constructivista.

No tengo espacio para hacer un relato sobre el origen, las conexiones, las influencias y el desarrollo a través de los últimos años. Voy a limitarme a enunciar la forma de trabajo actual, que está, como ya dije, basado en lo expuesto anteriormente.

1. Todo es comunicación.
2. Todo tiene lugar en la interacción.
3. Todo ocurre en un sistema que es definido por lo que se quiere explicar o entender.
4. Es "el problema" el que define el sistema.
5. Quien define el "problema", forma parte del "problema".
6. Las conductas llamadas "patológicas", corresponden a la lógica de relación del sistema en el que surge.
7. El terapeuta no es independiente del sistema que observa.
8. El sistema ha creado una historia: la función del terapeuta es construir una nueva historia.

El trabajo terapéutico se lleva a cabo por un equipo de tamaño variable: el número ideal es de cuatro terapeutas.

La sesión se lleva a cabo en un espacio adecuado con un espejo de visión unilateral. Uno de los terapeutas está con el grupo o familia, y los otros tres detrás del espejo.

Todas las sesiones se graban en video.

Las sesiones tienen una duración de dos a tres horas. La frecuencia, aunque es variable, el promedio es de una sesión mensual. El número total de sesiones, raramente es mayor de diez.

Cada sesión cumple con el siguiente "ritual":

1. Presesión. El equipo se reúne por un espacio de 20 a 30 minutos y elabora hipótesis con la información que tiene de la familia. Hipótesis que debe ser sistémica, es decir, incluir a todos los miembros del sistema, lograr un entendimiento en el que no se connote negativamente a ninguno de los miembros.
2. Sesión. Tiene una duración de 1 hora a 1 hora 30 minutos. El terapeuta interactúa con la familia en una forma muy activa, preguntando a los diferentes miembros con el objeto de producir nueva información para el sistema, utilizando las hipótesis elaboradas con el equipo. Hay varios tipos de preguntas que se hacen, la más clásica es llamada "Pregunta Circular"

que consiste en preguntar a uno de los miembros sobre la conducta o relación de otros dos en presencia de ellos.

Durante la sesión es frecuente que el equipo llame al terapeuta o que éste salga para hablar con el equipo.

3. Intersesión. Durante este período que puede durar desde unos pocos minutos hasta varias horas, el equipo completo analiza la sesión y elabora una intervención final con las conclusiones de su entendimiento sobre la sesión.
4. Intervención final. El terapeuta se reúne nuevamente con la familia y le entrega el resultado de la reunión con el equipo.
5. Post-sesión. El equipo analiza el total de la sesión y hace nuevas hipótesis sobre lo observado y la continuación de la relación terapéutica.

La sesión se desarrolla cada vez con la idea central de ser la primera vez en que tiene lugar el encuentro.

La "historia" que trae la familia o sistema, debe ser co-construida en una forma que permita la creación de una nueva "historia".

La teoría sobre el manejo coordinado del significado, de otra conceptualización fundamental para este desarrollo, con su descripción de los marcadores de contexto. Como punto de partida y en forma descriptiva sugieren siete marcadores para entender cualquier comunicación, o mejor como elementos que dan sentido a una comunicación:

SOCIAL

CULTURAL

CREENCIAS FAMILIARES

GUION DE VIDA

DEFINICION DE LA RELACION

EPISODIO

ACTO VERBAL (Analógico y digital).

Para finalizar quiero señalar una idea expuesta en 1992 por Gianfranco Cecchin, la de la Irreverencia, la necesidad que tiene el terapeuta de ser irreverente con sus ideas, "para poder sobrevivir como terapeuta", de la necesidad de estar siempre curioso de lo que está co-creando, de la realidad que emerge en su relación con las familias y entrevistados, del peligro que existe al creer que conocemos algo, de creer que somos poseedores de la verdad, del universo y no darnos cuenta de que lo creamos en la palabra, desde nuestra perspectiva de observadores, que lo construimos con nuestra acción en el lenguaje.

BIBLIOGRAFIA

- MATURANA, H. EL SENTIDO DE LO HUMANO. Hachete, Santiago de Chile 1992.
- _____ EL ARBOL DEL CONOCIMIENTO. Ed. Universitaria. Santiago de Chile. 1984.
- _____, VARELA, F. AUTOPOESIS AND COGNITION. The realization of the living. D. Reidel Publishing Company. London. 1980.
- BATESON, G. ESPIRITU Y NATURALEZA. Amorrortu editores. Buenos Aires.
- _____ PASOS HACIA UNA ECOLOGIA DE LA MENTE. Carlos Lolhe. Buenos Aires. 1972.
- WATZLAWICK, P. TEORIA DE LA COMUNICACION HUMANA. Herder, 1981.
- WHITAKER, C. PSICOTERAPIA DE LOS PACIENTES ESQUIZOFRENICOS CRONICOS. Editorial Escuela. Buenos Aires. 1965.
- CRONEN, V. PEARCE, W. COMMUNICATION, ACTION AND MEANING. Praeger Publishers. 1980.
- BERTALANFFY, L.V. TEORIA GENERAL DE LOS SISTEMAS. Fondo de Cultura Económica. México, 1968.
- CECCHIN, G. IRREVERENZE. UNA STRATEGIA DI SOPRAVIVENZA PER I TERAPEUTI. Franco Angeli. Milano, 1993.
- PALAZOLLI, M., PRATA, G. BOSCOLO, L., CECCHIN, G. PARADOSSO E CONTRO PARADOSSO, Milano, 1975.
- HOFFMAN, L. FUNDAMENTOS DE TERAPIA FAMILIAR. Fondo de Cultura Económica. México, 1981.
- MORIN, E. EL METODO. LA NATURALEZA DE LA NATURALEZA. Cátedra, Barcelona, 1986.
- MORIN, E. EL METODO. EL CONOCIMIENTO DEL CONOCIMIENTO. Cátedra. Barcelona, 1988.
- Von FOERSTER. LAS SEMILLAS DE LA CIBERNETICA. Gedisa. Barcelona.

Holismo, reduccionismo y el caso de la tecnología contemporánea

Diego Camelo*

RESUMEN

Este texto enfoca la problemática general relativa a la emergencia y a la reducción y proporciona instrumentos filosóficos adecuados.

Distingue claramente las categorías epistémicas y ontológicas a que pertenecen los diferentes conceptos de seducción y emergencia y muestra en qué consiste una excursión epistemológica.

Se pregunta sobre el cómo puede la tecnología enriquecer la "calidad" del mundo y cómo interactúa con la ciencia y a estas preguntas responde ampliamente.

La terminología que introduce es pensante (por lo menos para mí) pero válida.

En este trabajo presentamos la problemática general concerniente a la emergencia, la reducción, el holismo y el reduccionismo, y proporcionamos algunas herramientas filosóficas adecuadas para tratar este problema. Adicionalmente, presentamos el caso del reduccionismo-emergencia en tecnología, y utilizamos las herramientas previamente proporcionadas para intentar hacer un análisis ontológico, epistemológico, y metodológico de la tecnología contemporánea y de sus productos.

Con este propósito en mente, nos circunscribimos a las doctrinas que son lo suficientemente claras y que por lo tanto, pueden ser de alguna utilidad tanto a

* McGill University, Montreal, Canadá

la ciencia como a la tecnología. Igualmente, es importante mencionar aquellos casos de bias ideológico o de pensamiento filosófico -no científico- impreciso. Seguidamente, realizando una operación epistémica, señalamos las características más importantes de la metodología, la ontología y la epistemología, como han sido asumidos por los dos casos extremos de 'ismos', el reduccionismo ascendente (o simplemente reduccionismo) y el antireduccionismo (o holoreduccionismo). Seguidamente, mostramos la diferencia categórica entre reduccionismo y emergencia, correspondiendo esto a un problema ontológico. Se muestra que, a pesar de esta diferencia, existe una cercana relación entre la epistemología y ontología adoptada (en caso de que el 'ist' quiera ser coherente). Luego, presentamos la ontología realista involucrada en ciencia y tecnología (sistemismo y emergentismo), y la epistemología realista en la cual el análisis de la problemática general y el caso particular que nos concierne debe basarse.

En cuanto al aspecto tecnología, primero analizamos el proceso epistémico del diseño, del diseño simple y de la invención, y luego mostramos las peculiaridades de la novedad óptica de un artefacto diseñado. Encontramos que la invención se presenta en tres niveles de generalidad (general, cuasiespecífica y específica), y en dos grados de novedad (o profundidad), siendo estas, plana y profunda (postulación en el caso de invenciones generales, esto es, teorías generales referentes a sistemas). Finalmente, en cuanto a la novedad óptica, encontramos dos clases, las cuales son determinadas por el proceso de invención del artefacto. En relación con la composición del artefacto, encontramos dos clases de propiedad emergente. La primera de ellas es representable como restricción sistémica en el producto cartesiano del espacio de estado de las componentes utilizadas en el diseño, mientras que la segunda, por el contrario, no es representable. Esta última, de acuerdo con nuestro argumento, es la que se obtiene con la ayuda de ciencia aplicada.

HOLISM, REDUCTIONISM AND THE CASE OF CONTEMPORARY TECHNOLOGY

In this work we present the general problematics concerning emergence, reduction, holism and reductionism, and give some philosophical tools to deal with the problem. Additionally, we present the case of reduction-emergence in technology, and we use the tools to attempt an ontological, epistemological, and methodological analysis of contemporary technology and its products.

We circumscribe here to the doctrines that are clear enough to be any help to science and technology, and hence, we just mention those cases of ideological bias or imprecise-nonscientific-non philosophical. We then show the most important features of the methodology, epistemology and ontology, espoused by the extreme cases of 'isms', namely, bottom-up reductionism (or reductionism for short), and 'anti reductionism' (or holoreductionism). Additionally, we show the categorical difference between reduction and emergence, being reduction an epistemic operation, and emergence an ontological problem. It is shown that, despite

this difference, there is a close relationship between the adopted epistemology and ontology (in case the 'ist' wants to be coherent). Then we present the realistic ontology at work in science and technology (systemism and emergentism), and a realistic epistemology in which to base on the analysis of the general problematics and the particular case of our concern.

As for the case of technology, we first analyze the epistemic process of design, simple design and invention, and then show the peculiarities of the ontic novelty of a designed artifact. We find that invention comes in three degrees of generality (i.e. general, cuasiespecific and specific) and two degrees of novelty (or deepness), namely, flat and deep (postulational in the case of general inventions, i.e. general theories about systems). As for the ontic novelty, we find two classes, which are determined by the process by which the artifact is invented. In relation to the composition of the artifact, we find two classes of emergent property, the first one which is representable as systemic restriction in the Cartesian product of the state space of the components used in the design, and the second which is not. This latter, we argue, is the one that is obtained with the help of applied science.

I. HOLISMO Y REDUCCIONISMO: PROBLEMÁTICA GENERAL

Debemos empezar primero intentando definir con precisión lo que usualmente significan estos conceptos. Holismo y reduccionismo son ambas escuelas de filosofía de la ciencia de cada una de las cuales tiene sus propias doctrinas ontológicas, epistemológicas y metodológicas. Es entendible que muchos de los seguidores de cada una de ellas tenga lazos de unión con ciencias en las cuales la estrategia de la escuela respectiva haya tenido éxitos o prometa tenerlos, aunque es inaceptable en los casos en los que sólo una ideología es la fuente de tal seguimiento, como es el caso de la escuela austríaca de economía, que niega sistemáticamente la existencia de sistemas sociales mientras que está dispuesta a calcular tasas de interés, propiedad, ésta, sistémica. El reduccionismo, sin embargo, viene en dos versiones: reduccionismo ascendente por un lado y reduccionismo descendente por el otro. Ejemplo del primero es el intento de explicar todos los fenómenos económicos en términos de juegos entre individuos, ejemplo del segundo es el intento de explicar todas las características individuales como producto determinado por la estructura social (conciencia colectiva que determina la conciencia individual), o la célebre escuela gestaltista de psicología. Ha sido propuesto un tercer tipo de reduccionismo el cual es muy rara vez citado, y consiste en identificar, ontológicamente hablando, objetos en un lugar con objetos en otro lugar como en el caso de la cosmología. Nos parece, sin embargo, poco importante incluir este tipo de reduccionismo dentro de las discusiones en filosofía de la ciencia, por el simple hecho de que la tornarían imposible ya que no podríamos extender nuestras teorías más allá del objeto particular de estudio, esto es, tendríamos que concluir que, cada vez que aplicamos, por ejemplo, la teoría termodinámica a un refrigerador con el que nunca hemos experimentado, estamos haciendo una reducción. Esto tornarían también a la tecnología en un imposible, pues no podríamos inventar o diseñar nada. Tampoco incluiremos dentro de nuestra discu-

sión las perspectivas puramente ideológicas o las cuales tienden a polarizarse bien en el grupo de los antisistemistas (como los ideólogos de la escuela austríaca de economía), o los blandos de la teoría de sistemas no rigurosa (para los que lo único que hay que decir es que todo es más que las partes y que, además, creen que han sido reivindicados gracias a las propiedades de inseparabilidad en la mecánica cuántica. En resumen, reducir es igualar, incluir, eliminar la diferencia y mostrar redundancia.

Siendo reducción una operación epistémica, acordemos en llamar reduccionismo a su respectiva metodología, mientras que, siendo holismo principalmente una doctrina ontológica, acordemos en llamar holoreduccionismo (o antireduccionismo) a su metodología. Pasemos así, a hacer una descripción sucinta de los 'ismos' (metodologías), junto con sus respectivas tesis ontológicas y epistemológicas.

I.1 Descripción de los 'ismos'

A. Holismo:

- H1 El todo precede a las partes, o sea, no hay partes independientes del todo.
- H2 El todo actúa sobre las partes y las guías.
- H3 El todo tiene propiedades que las partes no poseen.
- H4 Los procesos de formación de las tonalidades no están directamente relacionados con los procesos de interacción entre las partes.
- H5 Las totalidades no pueden ser explicadas mediante análisis, esto es, descomposición en partes, sino todo lo contrario.
- H6 Como consecuencia, debemos estudiar sólo las totalidades, pues es lo que realmente falta y basta para entender.

B. Reduccionismo ascendente:

- R1 Las partes preceden al todo.
- R2 Las propiedades llamadas sistémicas son simplemente asunto de complejidad.
- R3 Sólo las partes tienen propiedades básicas.
- R4 El conocimiento de las partes basta y sobra para el entendimiento del todo.
- R5 Deben estudiarse principalmente partes.

Ahora bien, estos son los 'ismos' clásicos, pero no todos son totalmente fieles a una u otra doctrina. En realidad, el sostener coherentemente la totalidad de una de estas doctrinas lleva a extremos tales como tener que explicar todo ya sea en términos de los componentes últimos o en términos de totalidades absurdamente grandes.

I.2 La diferencia categórica entre reducción y emergencia

Es muy importante distinguir la diferencia categórica entre reducción y emergencia. 'Reducción' se refiere a una operación epistémica y es por lo tanto un concepto epistemológico, es decir, se refiere al intento de entender un fenómeno en términos de otro fenómeno, esto es, al intento de obviar una explicación específica para el fenómeno. 'Emergencia', por otro lado, se refiere a las cosas concretas, esto es, a la existencia de novedad cualitativa.

Las contribuciones en el campo de la filosofía requieren tratar los problemas de una manera sistémica y clara. Es por esto que debemos aclarar primero nuestra posición en asuntos básicos en el problema de la reducción, por lo cual, lo primero, es una ontología. Hagamos entonces.

1. Una excursión ontológica:

El mundo está compuesto de cosas y propiedades.

Todas las cosas son, o bien una cosa simple, o bien una cosa compuesta de otras cosas.

Algunas de las propiedades son intrínsecas mientras que otras son mutuas.

Toda cosa se encuentra en un estado u otro, esto es, sus propiedades toman valores de acuerdo el estado en que se encuentra la cosa (las cosas cambian).

Hay dos maneras de obtener totalidades, o bien por acumulación, o bien por interacción fuerte agregados y combinaciones. A los primeros los llamaremos agregados y a los segundos sistemas.

Paralelo a la formación de totalidades se sucede la aparición de sus propiedades y estas pueden ser, o bien la acumulación de las de sus partes, o bien unas nuevas (o algunas nuevas), esto es, hay propiedades resultantes y 'propiedades emergentes', siendo propiedad emergente toda propiedad del sistema que no está presente en alguna de sus partes.

2. Una excursión epistemológica:

Ahora bien, como nos interesa hablar de poder o no "entender esto o aquello en términos de otro esto o aquello", debemos entender por "entender" algo mínimamente sistémico. Podemos entender hechos, signos, o constructos de varias maneras. Lo cierto es que, o bien acomodamos el objeto de entendimiento a nuestra red epistémica, o bien alteramos esta última para acomodar el objeto. Ahora bien,

esto puede resultar, ya sea en una metáfora, en una descripción literal, o en una explicación propiamente dicha.

Mientras que podemos entender un hecho subsumiéndolo dentro de una cierta clase de hechos para los que se conoce una ley fenoménica, la ciencia tiende a buscar explicaciones mecanísticas, esto es, dar cuenta de algo con base en explicaciones de otros hechos (usualmente procesos en cosas concretas). Así, podemos explicar cosas, propiedades de cosas, eventos, y procesos, y esto se traduce usualmente en leyes + circunstancias. En general, podemos dar cuenta sistemático-científica de los hechos, o bien por medio de un sistema taxonómico (clasificadorio), o bien por medio de una teoría, sea o no esta última mecanística.

Una teoría fáctica es un sistema hipotético deductivo (y por lo tanto un contexto epistémico cerrado) con una clase de referencia concreta (es decir cosas), y por lo tanto tiene propiedades lógicas y propiedades semánticas. Sus bloques formativos son proposiciones y conceptos. Las proposiciones, como sabemos, pueden ser definiciones, teoremas, o premisas. Estas últimas no son otra cosa que las propiedades de los conceptos. En cuanto a los conceptos, hay que dar a estos significado factual para que la teoría pueda ser una teoría fáctica y podamos así, por ejemplo, conceptualizar las leyes básicas como premisas de la teoría.

Volviendo sobre la operación epistemológica de reducción, hay tres clases de constructos que pueden ser reducidos: los conceptos, las proposiciones y las teorías. Reducir un concepto es simplemente hacer una definición de un concepto en términos de otro, como por ejemplo: una máquina de computación es sólo un conjunto de chips, una onda es solo una vibración en un medio elástico, calor es movimiento atómico, etcétera.

En cuando a la reducción de teorías hay dos tipos: fuerte y moderada. La reducción fuerte de T2 a T1 se logra al deducir T2 lógicamente de T1 U D donde D es un conjunto de definiciones reductivas, o bien de los conceptos, o bien de las proposiciones. La reducción moderada de T2 a T1 se logra al deducir T2 lógicamente de T1 U D U P, donde P es un conjunto no vacío de premisas que se refieren a la clase de referencia de T2.

Con esto podemos ver entonces la diferencia categórica que existe entre reducción y emergencia. Existe por algún grado de independencia entre los dos, pero también una relación cercana. Más precisamente, el adoptar una epistemología fuertemente reduccionista nos lleva directamente a tener que adoptar una ontología completamente atomista, y en última instancia, completamente fiscalista. Por otro lado, el adoptar una ontología completamente holista nos lleva directamente hacia una epistemología, ya sea antireduccionista o reduccionista descendente (esto es la explicación de la parte por el todo). Ahora bien, el encontrarse por el camino con un caso exitoso de reducción total no nos puede llevar (ni lógicamente ni epistemológicamente) a pretender que podemos adoptar una posición completamente reduccionista, así como tampoco en el caso de encontrar un caso que se resiste a la reducción (incluso moderada) podemos adoptar el holoreduccionismo o el antireduccionismo.

II. EL CASO DE LA TECNOLOGIA CONTEMPORANEA

¿Ha contribuido la tecnología a enriquecer la variedad cualitativa del mundo? ¿Cómo lo ha logrado? ¿Cuánto ha logrado? ¿Cómo interactúa con la ciencia para lograrlo? ¿Puede un análisis de la estrategia de la tecnología ser útil en el entendimiento del problema de la reducción y la emergencia, y otras tantos problemas que interesan, tanto a la filosofía de la ciencia, como a los fundamentos y filosofía de la tecnología?

Si la respuesta a la primera pregunta es afirmativa, debemos, entonces, caracterizar las varias clases de actividad cognoscitiva realizada por los diseñadores(as) de artefactos tecnológicos al hacer sus creaciones, las propiedades ónticas correspondientes, y la relación entre las propiedades y los procesos mediante los cuales son creados.

Antes que todo, recordemos que una de las características importantes de las teorías tecnológicas (e.g. las que tienen como clase de referencia una clase artificial bien sea general o específica y que han sido creadas por los/las inventores(as) mismos(as) es la ausencia de hipótesis que deben ser probadas (corroboradas).

II.1 Dos grados de novedad epistémica en tecnología: diseño simple e invención

Es el momento de introducir la distinción entre las dos clases principales de diseño, siendo estos diseños simple por un lado, e invención por el otro. acordemos que, como el nombre lo sugiere, el diseño simple es más rutinario que la invención, generalmente específico, pero de ninguna manera algo trivial. En casos de extrema madurez de un campo de la tecnología, el diseño puede incluso automatizarse en gran medida.

La invención, por el contrario, no es rutinaria y puede ser (en relación con el grado de generalidad) específica, cuasiespecífica, o general. Hemos introducido estos tres grados de generalidad para poder distinguir, por ejemplo, entre la teoría general del autómata, la arquitectura Von Neuman de computadores (o cualquier otra clase de arquitectura de computadores), y las arquitecturas concretas (específicas) que tratan con problemas de mejoramiento de la memoria, relación funcionamiento/precio, resolución gráfica, entre otros. En cuanto al proceso por el que el conocimiento tecnológico general es adquirido, nosotros reconocemos solo una clase, esta es, invención. En otras palabras, nosotros reconocemos sólo dos grados de generalidad en el diseño, los cuales son, específico y cuasiespecífico.

En cuanto a la novedad óntica en el caso de la invención, se puede distinguir al menos dos grados, y los procesos correspondientes de creación serán llamados invención plana e invención profunda. Esta última es aquella que requiere investigación científica fáctica adicional. Esto será tratado con más detalle en la sección próxima. Arriesguemos entonces nuestro primer postulado acerca del proceso contemporáneo de invención:

Postulado 1: Las invenciones específicas contemporáneas complejas son precedidas por una invención general (formal) y el estudio de sus propiedades por la comunidad tecnológica.

El diseño simple es aquel en el que el sistema genérico ha sido inventado, estudiado y decidido de antemano de manera que la labor del/de la diseñador(a) es simplemente ajustar algunos (o muchos) parámetros hasta lograr las propiedades específicas deseadas. Esta no es una labor trivial ya que en muchas ocasiones la interrelación de las propiedades es tan grande que sin una gran imaginación no se podría lograr casi nada. Sin embargo, parece ser una tendencia de la tecnología específica el lograr facilitarle al/ a la diseñadora(a) los bloques que se comportan de manera casi ideal, aunque esta posibilidad depende del tipo de tecnología (en electrónica, por ejemplo, haber invertido tanto esfuerzo en esto ha resultado increíblemente productivo). Esta clase de diseño no enfrenta el problema de tener que inventar propiedades (generales ni específicas) novedosas.

En muchas ocasiones un sistema específico es inventado antes de que exista alguna teoría general de la cual servirse. Entonces en tecnología, al igual que en ciencia, tenemos modelos libres. Como ejemplo podemos citar la gran cantidad de sistemas no lineales que han sido diseñados. Como ser no lineal no es realmente una propiedad (formalmente puede serlo pero es extremadamente débil, en realidad inútil) no es mucho lo que se pueda avanzar en generalidad en cuanto a estos modelos, excepto en el caso de clases bien definidas como, por ejemplo, los autómatas.

II.2 Invención y generalidad epistémica

En/la teórico(a) general inventa sistemas genéricos al postular sus propiedades básicas y luego al estudiar sus propiedades derivadas por intermedio de la deducción de los teoremas relevantes, muy al estilo del trabajo de las matemáticas. Puede tomarse como ejemplo clásico la teoría básica de sistemas lineales en la cual se hacen dos postulados acerca del espacio de estados, uno acerca de la evolución del estado y otro acerca de la relación estado-ambiente. Pero aquí no termina su trabajo pues el/ella seguirá inventando subclases nuevas y sus propiedades.

El/la tecnólogo(a) cuasiespecífico(a) inventa, bien sea realizaciones cuasiespecíficas de invenciones generales, o bien, un modelo libre no completamente específico de un sistema con algunas propiedades deseadas. Un ejemplo del primero es un controlador PID y un ejemplo del segundo es un sistema de lectura de disco compacto. Se puede notar que los componentes de un modelo libre son por lo general invenciones cuasiespecíficas, y en muchas ocasiones, modelos ligados a un modelo general. En cualquier caso, el/la inventor(a) interconectará cajas negras o grises y obtendrá así las propiedades deseadas.

Finalmente, el/la tecnólogo(a) específico(a) inventa, ya sea nuevos componentes con propiedades similares o radicalmente nuevas, o una nueva manera de interconectar componentes para obtener un sistema con propiedades bien sea conocidas, o desconocidas anteriormente. Resumiendo tenemos:

Figura 1

CLASES DE PROCESO DE INVENCION

	General	Cuasiespecífico	Específico
Diseño simple		X	X
Invención	X	X	X

II.3 Novedad óptica y la invención

Ahondemos ahora en cuanto a las peculiaridades ontológicas de los artefactos inventados por la especie humana. Empecemos, entonces, con las invenciones generales. Hemos dicho que las invenciones generales son principalmente producto de la postulación de propiedades de ciertos sistemas imaginarios. Por supuesto que debe haber sujeción a la matemática (las propiedades postuladas no son nunca formalmente incompatibles pues se incurriría en contradicción) y a un sistema de ontología amigable a la ciencia (no es interesante estudiar sistemas anticipativos). Estas invenciones vienen generalmente en formato de teoría aunque algunas otras veces vienen en formato de bloques, esto último, para facilitar su interconexión. Esto nos lleva a concluir que hay invenciones generales por interconexión de bloques generales. Nada puede decirse acerca de la emergencia de propiedades en el caso de invención general por postulación de propiedades, aunque algo puede decirse en el caso de invención por interconexión de bloques generale: hay emergencia formal en relación con los componentes utilizados, o sea nuevas propiedades, las cuales son propiedades formales del sistema de las teorías correspondientes.

Se enfrentan a la emergencia de propiedades concretas los/las tecnólogos(a) cuasiespecíficos(a), pero principalmente los/las inventores(as) de especies concretas (tecnólogos(as) específico(as)). Lo anterior en razón de que ellos/ellas, o bien interconectan componentes, o bien inventan nuevos componentes todo con el ánimo de lograr nuevas propiedades (o mejor, conjuntos de propiedades).

Mientras que en el caso de invención por interconexión de componentes (generales, cuasiespecíficos o específicos) sólo se necesita cerebro, lápiz, papel y, tal vez, herramientas de cómputo, en el caso de invención de componentes (sin interconexión de componentes de nivel anterior) se requiere, además, adquisición de conocimiento factual nuevo por medio de investigación científica (si la investigación ya está hecha entonces estamos en el caso anterior y es cuestión de estudio por parte del/de la tecnólogo(a)). Lo cierto es que, en muchos casos, la investigación no está hecha de antemano y ésto es lo que llamamos Ciencia Aplicada). Demos entonces nombres sugestivos a estos dos tipos de invención: invención plana e invención profunda.

Vemos así que la invención en general es, ya sea postulacional o plana. La invención cuasiespecífica resulta ser siempre plana y sólo la invención específica puede ser, o bien plana, o bien profunda.

Citemos ejemplos clásicos de los dos tipos de invención específica, que es la más interesante para nosotros porque, además, cubrirá la invención cuasiespecífica por la simple razón de que la invención es de todas formas una operación epistémica y conceptual.

1. Invención específica plana:

Un circuito eléctrico lineal oscilatorio. Claramente la oscilatoriedad es una propiedad sistémica pero, para describir el estado del sistema o inventarlo no hace falta más que el estado de cada uno de los componentes, y la interrelación entre ellos. El espacio legal de estados es una elipse en el caso de dos componentes.

2. Invención específica profunda:

Los dispositivos son semiconductores. De la interconexión serial eléctrica de dos patillas semiconductas de diferente tipo no se logra nada nuevo. Sin embargo, al colocarlos en interacción más profunda se logran propiedades completamente nuevas que no pueden ser descritas en el espacio de estado anterior de sus componentes. Es claro que, si disponemos previamente del conocimiento de las leyes que gobiernan la interconexión profunda de pastillas de semiconductores, podemos proceder a hacer una invención plana de sistemas con juntas, tal como es el caso de la invención de la familia de transistores, y tal como es hecho hoy en día, casi rutinariamente, utilizando un programa adecuado de computador.

El punto crucial aquí es que, una vez que la ciencia aplicada ha dado al/a la inventor(a) todos los ejes que requiere para representar el espacio de estado de los componentes bajo interacción, este(a) podrá inventar nuevas propiedades que no requieran nuevos ejes. Demos dos razones para esto:

1. Epistemológica:

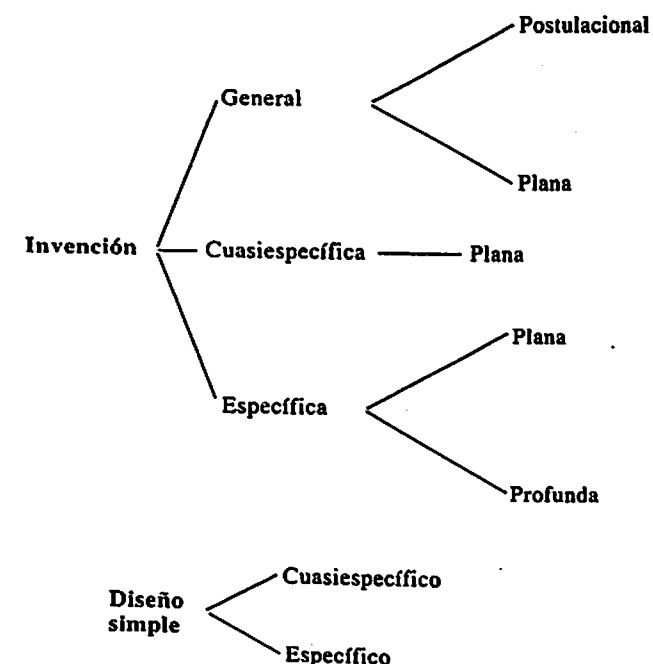
Los humanos inventamos interconectando bloques cuyo modo de interacción (ejes leyes) es conocido de antemano (de lo contrario no sabemos lo que estamos interconectando). Si los ejes de que disponemos no bastan para describir el sistema pues no podemos diseñar nada.

2. Ontológico-epistemológica:

Si a raíz de interacción sistémica se requieren nuevos ejes (propiedades básicas), no es posible, entonces, deducir estos nuevos ejes a raíz de los ejes conocidos de los componentes aislados, pues, de lo contrario, no necesitaríamos estos nuevos ejes.

Sistematicemos lo anterior mediante el siguiente esquema de clasificación:

Figura 2



La invención general se hace, ya sea postulando sistemas y sus propiedades (postulacional), o interconectando bloques generales (plana).

La invención cuasiespecífica es aquella en la que se interconectan bloques casi específicos y se obtienen las propiedades deseadas.

La invención específica es aquella en la que los sistemas bajo consideración pertenecen a una clase concreta. En muchas ocasiones el invento o sus componentes pertenecen también a una clase general.

La invención plana se hace interconectando bloques cuyos ejes son cómodos y bastan para representar el estado del sistema. Lo que el/la inventor(a) logra es una nueva ley en el producto cartesiano de los espacios de estado de los componentes.

La invención profunda es hecha en cooperación con la ciencia aplicada (y entonces tiene un componente de descubrimiento). En este caso se requiere la introducción de nuevos ejes para representar el sistema. Por lo tanto emergen tanto propiedades básicas como sus respectivas leyes.

Ahora bien, las afirmaciones anteriores son contraintuitivas y parecen afirmar que el/la científico(a), por dar todos los ejes necesarios para la invención, debe entender todo lo que el/la tecnólogo(a) hace, y en particular, debe saber acerca de todas las propiedades típicas de los productos tecnológicos tales como

confiabilidad, amigabilidad, precio, versatilidad, ciclo de vida, etcétera. Esta objeción es inapropiada pues nosotros conocemos la emergencia de propiedades en la invención plana (la que hace el/la tecnólogo(a)) sin la necesidad de utilizar nuevos ejes para representar el estado, y es precisamente la interrelación entre las propiedades básicas y las leyes correspondientes lo que ejemplifica el novedoso concepto que el/la tecnólogo(a) ha introducido (o utilizado) al inventar el artefacto.

Debemos aclarar que en el caso de propiedades artefacto-ambiente (por ejemplo, humano-máquina), no es posible representar las propiedades sistémicas en el espacio de estados del artefacto y ni siquiera es seguro que pueda ser representado en el producto cartesiano de los espacios de estado descrito anteriormente de los semiconductores o en el caso de la inseparabilidad en la mecánica cuántica). Podríamos citar como ejemplo de esto la actual ingeniería de software que pasó de ser una metodología para el desarrollo eficiente de programas eficientes a ser una ingeniería auténtica de sistemas humano-herramienta de cómputo y que puede llegar tan lejos como lejos llegue la correspondiente ciencia socio-técnica del estudio de complejos humano-máquina.

Otro ejemplo de esto lo constituye el diseño del precio de un artefacto. Este diseño no es posible con el sólo conocimiento de la tecnología correspondiente. Si queremos diseñar el precio (esto es, fijarlo a gusto dentro de los límites posibles), debemos utilizar algún conocimiento en microeconomía aplicada (el cual luce como promoción y mercadeo en algunos casos). El diseño puede resultar plano o profundo, bien sea que el precio sea fijado por competencia, monopolio o modo, en un caso, o por algún mecanismo nuevo (en el que las propiedades del artefacto juegan algún papel). Sea o no que diseñemos el precio, el artefacto tendrá un precio si lo llevamos al mercado pero, el punto es que, si queremos diseñar el precio, debemos hacer uso también de algo de ciencia social aplicada.

III. CONCLUSIONES

III.1 Ontológicas

01. Tanto en invenciones planas como profundas, hay emergencia de propiedades nuevas en relación con las propiedades de los componentes con las que fueron diseñadas. Por supuesto que en el diseño no emergen propiedades concretas, simplemente, hay invención conceptual con referentes concretos ya sean específicos o generales (para distinguirla de la invención formal puramente matemática).
02. La existencia de propiedades emergentes sin la necesidad de nuevos ejes (invención plana) sugiere la necesidad de introducir la distinción entre dos grados de novedad ontológica. Algo parecido a esto ha sido propuesto por Bunge al introducir la distinción entre leyes básicas y leyes derivadas. Podemos agregar ahora que una nueva ley básica requiere nuevos ejes (o propiedades básicas) y que, al igual que las leyes derivadas, la cantidad de propiedades derivadas que podemos diseñar es ilimitada.

III.2 Epistemológicas

- E1** Las propiedades diseñadas pueden ser representadas en el producto cartesiano de los conjuntos que representan propiedades básicas de los componentes con que fueron diseñadas. Los ejes correspondientes son dados por una o varias ciencias aplicadas (de otra manera: ¿Cómo podríamos diseñar?).

El hecho de que no podamos diseñar leyes básicas o propiedades básicas no limita la clase de cosas y propiedades que puedan resultar como producto de la influencia humana pues, implementar un diseño errado o ensayar sistemas al azar, puede resultar en la emergencia de leyes básicas. Esto lo hace la ciencia al experimentar de manera guiada, la naturaleza y muchas de las acciones humanas, por lo que justamente existen leyes antropológicas básicas (no necesariamente eternas). Lo que decimos nosotros es que no podemos diseñar tales leyes o propiedades aunque podemos imaginarlas (por lo menos de manera general), intuir las, y ayudar, o bien a descubrirlas, o a forzarlas.

- E2** Las teorías tecnológicas específicas son fuertemente reducibles a la correspondiente mezcla de teorías científicas que fueron utilizadas para el diseño (al diseñar no se postulan nuevas leyes). En cuanto a las teorías tecnológicas generales la cosa es diferente, pues nuevos conceptos son inventados y estos no se refieren a nada en particular.

- E2** Sólo la tecnología general postula leyes, pero estas son formales. Las tecnologías no son generales, por el contrario, prevén leyes y las deducen o refutan, por lo tanto, no hay hipótesis fáctica que deban ser puestas a prueba.

III.3 Metodológicas

- M1** Dado un conjunto de componentes, sus propiedades y leyes de interacción, el/la inventor(a) es competente para crear nuevas cosas en la medida en que las propiedades básicas del conjunto sean representables en el producto cartesiano de los espacios de estado de los componentes con el que fue diseñado.
- M2** La invención profunda requiere alguna cantidad de descubrimiento fáctico (preferiblemente investigación científica). Por supuesto que este descubrimiento es guiado por previo conocimiento científico y la sospecha de poder descubrir algo útil. Claro que sin la investigación básica desinteresada nos quedaríamos sin con qué guiar la investigación aplicada y muchas aplicaciones quedarían escondidas irremediadamente.
- M3** El punto exacto de contacto epistemológico entre la ciencia y la tecnología es la invención profunda (la cual es parcialmente un descubrimiento).

Holismo y reduccionismo: ¿entre el todo y la nada?

Joao V. Muñoz Durán

En este ejercicio inicialmente identificaré el escenario de relaciones entre Holismo y Reduccionismo en el que se centrará la discusión. Posteriormente continuaré con una argumentación dividida en dos fases: la primera es una breve reseña histórica de algunos eventos de relevancia, por lo menos en el contexto de este trabajo, de la historia de la Física y de las ideas que condujeron a la elaboración y refinamiento de la teoría de la evolución; en la segunda fase de la argumentación ustedes notarán un salto visible en la naturaleza del contenido, en ese punto haré una exposición de algunas relaciones que se pueden identificar entre el Todo y las Partes. La anterior argumentación servirá en último término para plantear una hipótesis de trabajo sobre como se podría establecer un diálogo entre las perspectivas Holista y Reduccionista en ciencia, con lo que daré por terminado el ejercicio.

1. DISCUSION HOLISMO - REDUCCIONISMO: ALGUNOS ESCENARIOS DE APROXIMACION.

Pueden identificarse varios escenarios de aproximación para analizar la dicotomía Holismo - Reduccionismo, que caracterizaré por la manera como en ellos se podría expresar el Reduccionismo, descuidando su contraparte, ya que como veremos posteriormente estos dos términos, más que antagonistas, son equivalentes.

El modelo, o mejor el diseño del modelo, con el cual se desea abordar el estudio de un fenómeno en cualquier disciplina científica puede considerarse como un primer escenario de reducción. En el modelo se incluyen las variables que se considera podrían incidir sobre el fenómeno bajo estudio, y es en este punto donde surgen las primeras sospechas de reducción: ¿No están éstas variables limitadas, restringidas o circunscritas, se podría decir también filtradas,

por nuestro aparataje biológico-sensitivo, cultural y lingüístico?. Más aún, del conjunto de variables identificadas y que se considera deben incidir sobre un fenómeno, ¿ Cuáles se estima son más importantes para abordar su estudio? ¿ En razón de qué criterios escogemos éstas o aquéllas? ¿ No son estos criterios diversos, efímeros y caprichosos?. Pero la reducción que se opera desde el modelo puede ser aún más incisiva, ya que de las variables finalmente escogidas, ¿Cuáles podemos efectivamente llegar a medir o cualificar? ¿ Cual es el grado de certeza que tenemos sobre los registros hechos?. Y todavía queda, por lo menos, una pregunta más acerca del alcance de nuestros modelos: ¿ Acaso no es cierto que modelos nuevos y diferentes nos permiten ver cosas nuevas, diferentes y seductoras?.

Un segundo escenario un poco más extenso de Reduccionismo es aquel que se podría llamar íntimo o intrínseco. Este se expresa como la búsqueda que se ejecuta hacia el interior de cada disciplina científica de las partículas, fuerzas y/o leyes fundamentales, y que ha caracterizado una parte importante del desarrollo de la Física y la Biología. La Física ha ido en busca de las unidades elementales, primero encontró los diferentes elementos químicos, luego los átomos, continuó su aventura hasta topar con los neutrones, protones, electrones, fotones y neutrinos, y determinó sus atributos más característicos, masa y energía. De manera similar procedió la Biología, tratando de descubrir la unidad elemental: primero fue el organismo, después con Schleiden, Schwam y Virchow las células y por último las moléculas. En este mismo campo y posteriormente, la Genética basó sus actividades sobre el genoma, primero encontró los cromosomas y los genes, más tarde las cinco moléculas fundamentales.

En la actualidad los físicos continúan a la búsqueda de las partículas elementales y de la fuerza fundamental que generó el universo. Por su parte, la cultura reduccionista en Biología nos ubica en el umbral de la meta biotecnológica: la posibilidad de rediseñar los organismos penetrando en la expresión más pura de su identidad para modificarlos y acondicionarlos a nuestros requerimientos de producción. Podría decirse entonces con Briggs y Peat (1989) que "la naturaleza controlada por el pensamiento humano es la esencia del sueño reduccionista".

De esta manera no es de extrañar la evidente posibilidad de un reduccionismo a escala mayor, podría llamarse interdisciplinario, ya que por esta vía de exploración científica la Biología podría ser explicada mediante los conceptos y leyes químicas, y en último término por los conceptos y leyes generales de la Física. Otro tanto sucede con las ciencias antro-po-sociales que, al avanzar en el sentido de la determinación biológica, está ubicándose en la senda de la reducción física. Precisamente, esta interacción conceptual entre las diferentes disciplinas científicas puede ser considerada el escenario de otro nivel de relaciones Holismo - Reduccionismo, en el que los aspectos más destacados son el que hace referencia a la reducción de tipo fisicalista y la pretensión holista de la Teoría General de Sistemas. Este es precisamente el nivel en el que se concentrará la atención del ejercicio que aquí se desarrollará.

Los anteriores escenarios constituyen expresiones de un nivel de reducción fundamental, aquel que se opera desde, o que depende de, nuestra condición de ser seres humanos. Cualquier cosa de la que podemos hablar, cualquier teoría por interesante que ella sea, o por fisicalista que nos parezca, no dejará de ser más que el producto de la idiosincrasia humana.

2. LA ARGUMENTACION

2.1. Breve Reseña Histórica de la Física y la Biología.

Este recuento tiene como punto de partida arbitrario la mitad del Siglo XVII, cuando en la ciencia hace aparición el método experimental y se opera una reacción frente a los criterios de autoridad, el supersticismo y los prejuicios teológicos. En esta época aparecen los primeros rasgos del pensamiento moderno con la publicación del "Discurso del método" de René Descartes y la exploración del universo se intenta mediante la observación sistemática y la experiencia. La información consignada en este recuento ya debe ser conocida por ustedes, así que intentaré, a través de una breve exposición, poner de manifiesto los principales ítemes conceptuales que han permitido un acercamiento, en lo que atañe a sus contenidos teóricos, entre la Física y la Biología.

2.1.1. Orden y Desorden: una disputa compartida.

Hasta la obra de Copérnico, el universo era regido por un orden inmutable, por un designio divino, que ponía al hombre y la tierra en el centro del universo, materia privilegiada de la creación. Copérnico y Galilei generan una revolución en este orden al desplazar a la tierra del centro del universo, condenándola a girar alrededor del sol. Más tarde con los trabajos de Kepler, Newton y Laplace quedó establecido que el universo obedece a una inexorable mecánica, adquiere la identidad de máquina gigante con partes que interactúan uniforme, cíclica y armoniosamente. El peso de los cuerpos, el movimiento de las mareas, la rotación de la luna alrededor de la Tierra y el de ésta entorno del Sol, etc, todas son expresiones de leyes claras, precisas y universales. El orden, la visión de un Universo cadencioso, rítmico e inalterable, se impone a pesar de que algunas veces no obedezca a lo regular y perfecto. Basta con recordar lo que sufrió Kepler cuando, a pesar de todos sus intentos, no pudo hacer corresponder las órbitas de los cuerpos celestes con la geometría de los sólidos regulares, expresión del la perfección creadora.

En el campo de la Biología, se observa que hasta la segunda mitad del siglo XVIII la inamovilidad y rigidez del mundo viviente no eran cuestionados, quizás sólo, y a pesar de los ingeniosos experimentos de Francesco Redi, se admitía la generación espontánea de los "animales inferiores". Sin embargo, la Geología empezaba hablar de que la tierra no solo había sido perturbada por un diluvio sino que también, su corteza se agita, tiembla y se desplaza. Podía suceder entonces, pensaron algunos, que los seres "organizados" no fueran inmutables y pudieran ser afectados por el medio en el cual se desarrollan. Así, se gesta un nuevo paradigma en el sentido de Thomas Kuhn: la tendencia al movimiento y la transfor-

mación a lo largo del tiempo. En Biología, las ideas transformistas, aunque no expuestas a manera de una teoría consistente, fueron abanderadas por Maupertuis y Buffon, oponiéndose así al fijismo representado en la época por Carl Linné, Charles Bonnet y Lazaro Spallanzani, entre otros (Muñoz, 1993, *mss.*).

Es sólo hasta 1809, cuando Jean Baptiste de Lamarck en su "Philosophie zoologique", precisando y desarrollando los conceptos de finales del S. XVIII, formula la primera teoría seria acerca del fenómeno evolutivo. Este personaje une al conjunto de los seres en una misma historia que cuenta su génesis sucesiva. Posteriormente, se encuentran en la historia del desarrollo de las ideas evolutivas otros aportes importantes previos a la obra de Charles Darwin; sin embargo, las primeras contribuciones a la interpretación del fenómeno de la evolución pretendían establecer un orden de los seres organizados, un orden en la dirección de cambio de los seres vivos que implicaba avanzar hacia estados de mayor complejidad, organización y perfección, en el que el hombre era considerado como fin último de este proceso de cambio.

A grandes rasgos se podría decir que hasta mediados del siglo XIX, mientras el orden físico obedece a los códigos inmutables de la naturaleza, el biológico acata el designio divino.

Hasta antes de mitades del siglo XIX la Física y la Biología discurrían como líneas paralelas; quizás compartían entre sí la noción de orden, que actuaba entonces como un principio holista. El orden era factor común de todas las ramas del saber. Podría quizá la noción de orden en aquella época servir como puente embrionario de comunicación entre la Física y la Biología, ya que este concepto entraña las nociones de ley, determinismo y causalidad. Sin embargo, en ese punto del devenir de estas dos disciplinas, no era evidente una reducción interdisciplinaria en ninguno de los dos sentidos posibles. Cabe resaltar también que en el siglo XIX, tanto la Física, como la Biología, coinciden en el uso del método Cartesiano de la observación y experimentación sistemáticas.

El primer gran asalto al orden en Física tiene lugar en 1850 cuando Clausius introduce la noción de entropía que califica uno de los conceptos físicos más importantes: la energía (Morowitz, 1978). El primer principio de la termodinámica establece que la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma. De esta manera se asegura la autosuficiencia del universo y eternidad para todos sus movimientos y transformaciones (Morin, 1986)

El segundo principio, sin contradecir al primero, introduce la degradación de la energía en los sistemas cerrados. Si se admite que la energía tiene cierta calidad que depende de su capacidad para producir trabajo, en los sistemas cerrados, sin aporte de energía, la energía va perdiendo progresivamente calidad, hasta llegar a un estado de equilibrio térmico en que toda la energía se ha transformado en calor y ya ningún movimiento, ninguna transformación es posible.

Más tarde con Boltzman el concepto de entropía también adquiere un sentido probabilístico. Así, el incremento de entropía es un movimiento hacía el estado de

mayor probabilidad, es el incremento del desorden interno del sistema. El máximo estado de entropía es el estado de máximo desorden (Morowitz, 1978).

De esta forma el universo concebido como un Todo que dispone de una cantidad de energía finita, se comporta como un sistema cerrado que deriva inevitablemente hacia la muerte térmica. El segundo principio atenta pues contra el orden cósmico y por tanto insinúa una primera, aunque tímida, reducción de cualquier fenómeno, u objeto de estudio, en cualquier disciplina, a una tendencia universal de explicación física.

En 1859, nueve años más tarde del inquietante debut del segundo principio, en el ámbito de la Biología, Charles Darwin publica el "Origen de las Especies". Darwin hace énfasis en el origen de la diversidad a lo largo de un gradiente geográfico. Las especies sufren "transmutaciones", cambian, según se desplazan geográficamente; esta evolución se debe a un proceso de selección natural.

Darwin se apoyó en una práctica ampliamente difundida en su época: la selección artificial. Otro factor decisivo lo constituyó la lectura del "Ensayo sobre la población" de Malthus, economista inglés quien postuló en 1798 que "en cualquier especie, nacen en cada generación más individuos que los que es posible alimentar; en consecuencia, debe producirse una lucha por la existencia en la que sólo sobrevivirán y procrearán los individuos mejor preparados". Darwin podría suponer, que si en el ambiente tuviera lugar un cambio, esta lucha por la existencia sería el medio natural mediante el cual se selecciona a aquellos individuos que mejor pueden adaptarse a las nuevas condiciones y así gradualmente las especies se transformarían.

El materialismo de la teoría de la selección natural provocó la oposición teológica y popular como era de esperarse. La adaptación era para Darwin un proceso natural que no necesitaba de una explicación sobrenatural y que en ningún momento era el reflejo de la benevolencia divina. Esto ya era el colmo: Copérnico despedía a la tierra del centro del universo y Darwin negaba al hombre como hijo de Dios, cuando menos, lo desplazaba de la cúspide de la pirámide, del ápice de la cadena de las especies y lo ponía al mismo nivel del resto de los seres vivos. Ya no éramos el objeto final de la evolución, ya no había una transmutación de los individuos según un designio divino como lo había postulado Chambers anteriormente.

El enunciado más neurálgico de la teoría evolutiva de Darwin es el de la selección natural, aquí la cuestión empieza a complicarse. Esta idea fue rechazada inicialmente por los biólogos, filósofos y religiosos entre otros, unos por que no se encontraba en la atmósfera científica del siglo XIX, no estaba sustentada por las matemáticas, ni la física, no era determinista ni predictiva, no reflejaba ningún tipo de orden, por el contrario contiene un componente de azar bastante marcado. Para otros llegaba al colmo del materialismo al oponerse a la imagen de que la belleza de la naturaleza es sólo el reflejo de la existencia del creador. En esa época se defendieron las teorías finalistas, el impulso hacia un estado de mayor perfección, la teleología cósmica, el proyecto (Bowler, 1985).

Sin embargo, los teleólogos no podían considerar un mecanismo que no fuera sobrenatural para explicar su "finalismo"¹. Esta tendencia ha quedado rezagada en el desarrollo de la Biología, ha dejado de ser competitiva en este campo. La Biología molecular ha encontrado corroboración experimental al enunciar que el material genético es constante y sólo puede cambiar por mutación, en su acepción más general. La Paleontología dio al traste con las ideas de perfección y regularidad, pues al estudiar la tendencia evolutiva de un determinado carácter, se ha visto que una vez determinada la dirección, ésta puede cambiar radicalmente, como fue demostrado claramente por George Gaylord Simpson, por ejemplo, en la tendencia a un mayor tamaño del cuerpo o de los dientes (Alexander, 1987; Ruse, 1987). El azar y el indeterminismo, desde Darwin, monopolizan el campo de explicación biológica.

Es así como la inquietud generada por la imagen de un universo que, junto con todos sus elementos constitutivos, deriva azarosamente hacia una muerte térmica inevitable, provocó una reacción en el sentido de intentar restaurar el orden tanto en la Física como en la Biología.

Algún día aparecieron los "diablillos de Maxwell", que lograban sin aporte de energía externa al sistema producir trabajo. Le quedaba entonces a la ciencia encontrar estos diablillos..... o angelillos?. Podría presumirse su existencia ya que en la naturaleza los seres vivos exhiben una evidente adaptación al medio en el que se desarrollan, lo que indicaba, por lo menos en el campo de la Biología, que los procesos de cambio evolutivo pueden ser predecibles, y que el orden y la organización son evidentes.

A pesar de todos los ingeniosos esfuerzos por restablecer el orden, en la historia de la Física hacia el año de 1900 aparece un segundo desorden, el del desarrollo a nivel atómico. Primero, Rutherford había convertido al átomo en un pequeño sistema solar en el cual había diminutas partículas que giran alrededor de un núcleo. Pero más tarde Boltzmann, Gibbs y Planck, introducen la noción discontinua del quantum de energía. Las partículas adquieren una doble naturaleza, se comportan como corpúsculos y ondas, y ahora no es posible establecer para ellas una localización espacio-temporal fija (Briggs y Peat, 1989). Aunque todo entra en el orden a nivel estadístico, al nivel de los grandes números y poblaciones, cada individuo, cada elemento del conjunto se sumerge en lo más profundo de la indeterminación.

Como si fuera poco, en la historia de la Física, en adición a los desarreglos termodinámico y atómico, en la década de los 30 Hubble aporta la evidencia de la expansión del universo a manera de dispersión, posiblemente como producto de una gran explosión primigenia. Hubble encontró el desplazamiento hacia el rojo de la luz emitida por las galaxias lejanas, lo que además ha permitido calcular su velocidad de alejamiento respecto de nosotros (Torres, 1992), suministrando la primera base empírica o contrastación (en el sentido de Popper) de la

¹ Resalto esta palabra, pues me declaro partidario de cierta teleología inmanente y con posible explicación a partir de la termodinámica, las teorías de la información y del caos.

teoría de la expansión del universo. Esta teoría de alguna forma rompe nuevamente el orden cósmico sumergiendo a los cuerpos celestes en la más profunda deriva y azar.

Más tarde, en 1965 se obtuvo corroboración fáctica y accidental de la teoría del origen del universo como resultado de una explosión primigenia. A. Perizios y R. Wilson, detectaron una señal en la antena utilizada para estudiar condiciones atmosféricas (Torres, 1992). Esta señal era el eco de la primera explosión. La teoría del "Big Bang" postula que toda la materia y energía del universo estaba concentrada en un punto que explotó hace aproximadamente 15.000 millones de años dejando una onda electromagnética que llena todo el espacio y a la que se llama radiación cósmica de fondo. Inmediatamente después de esta colosal explosión se formaron las primeras partículas, neutrinos, electrones, protones y neutrones, y posteriormente mediante condensaciones se forman los primeros núcleos y aparecen los elementos livianos como hidrógeno y helio, luego los más pesados, y en este punto del devenir existen galaxias, cúmulos de galaxias, supercúmulos, planetas, innumerables especies de organismos vivos, maravillosos mamíferos, ciudades y culturas.

El "Big Bang" residuo de la explosión inicial corrobora nuevamente la idea de un Universo en expansión hacia el infinito y fruto de una catástrofe inicial. Unido a esto, el registro de explosiones de galaxias, choques de astros, agujeros negros, cuasar, quarks, etc, rompen la armonía del gran ballet galáctico imaginado por Ptolomeo, Copérnico, Galilei y Kepler, que hasta ese momento se concebía.

Se derrumba así el orden físico y cosmo-físico. A pesar del evidente desorden surge nuevamente la duda: ¿Cómo es posible que existan regularidades en el Universo? ¿Cómo puede surgir la organización en un universo desordenado? ¿Cómo puede ser posible que tengamos la intuición de un universo organizado en diferentes niveles de complejidad en el que podemos diferenciar átomos, moléculas, células vivas, organismos, ciudades y culturas? ¿Cómo es que estamos aquí discutiendo sobre el Holismo y el Reduccionismo?

Nuevamente habría que unir lo desunido, en nuestro intento de aspirar a un conocimiento integral. En este punto algunas de las preguntas por resolver pudieron ser: Si los sistemas cerrados sólo existen en la imaginación de los físicos entonces... ¿Qué son los sistemas abiertos? ¿Cómo se organizan? ¿Cómo podemos explicar el aparente orden, las irregularidades, los saltos y discontinuidades que se observan en los sistemas abiertos? ¿Existe también una tendencia al desorden en los sistemas abiertos? ¿Cómo se explica la aparición de la vida, la evolución, la sucesión ecológica, la organización social, etc., a partir de un universo desordenado en términos físicos?

2.1.2. Orden y Desorden: un pacto fecundo y un puente de comunicación.

La relación entre los conceptos de orden y desorden se expresó generalmente a manera de rechazo. Por un lado la noción de orden implica los conceptos de determinismo, causalidad, teleología, armonía, organización y necesidad, por otro

el de desorden implica los de indeterminismo, azar y deriva entre otros. Así, la Física en general concibe un inevitable movimiento hacia el desorden, mientras que la Biología, me refiero particularmente a las teorías que intentan explicar la evolución, desarrolla un movimiento contrario en el sentido de aumento de orden.

Es Prigogine quién a partir de un nuevo desarrollo de la termodinámica, mediante la ampliación y extensión de sus conceptos, muestra que no necesariamente el orden y el desorden son antagonistas, más bien son de naturaleza complementaria. Con los ejemplos de los "Torbellinos de Bénard", demuestra que a partir de las desviaciones, perturbaciones y disipación pueden generarse estructuras ordenadas.

En 1959 Von Foerster sugiere que el orden de la organización viva deviene del desorden (Briggs y Peat, 1989). La teoría del "Big Bang" adquiere así una nueva dimensión, la de catástrofe creadora. El universo se creó por catástrofe y deviene por catástrofe. La evolución deja de ser una idea simple, un progreso ascensional, después de Prigogine adquiere una doble identidad, es al mismo tiempo degradación y construcción. El orden y el desorden ya no son vistos como excluyentes, como antagonistas, se piensan como entes complementarios.

Desorden y orden nacen casi al mismo tiempo en el instante de la gran explosión. Las condiciones particulares de esos primeros momentos del universo, es decir el desplazamiento y condensación de energía y materia, generan condiciones que restringen y delimitan las posibles interacciones que pueden ocurrir entre las primeras partículas que se forman, y su formación misma. En este sentido, el desorden es generador de orden, es constructor, es pintor y escultor. Las limitaciones iniciales empiezan a señalar un rumbo, una dinámica de la deriva del universo que restringe el campo de los posibles.

Desde el principio de alguna forma se opero la reducción del número de universos posibles, más intensa a medida que deviene más nuestro universo, a medida que la materia y la energía se condensan, a medida que se trate de una galaxia o de otra, de seres vivos y, reconociéndolo humildemente, de los productos de la idiosincrasia humana.

El siglo XIX contempló el apogeo de la ciencia determinista, del culto por el orden, que culminó con la formalización refinada de la mecánica newtoniana. Esta ciencia se inspiraba en la aparente armonía de los fenómenos astronómicos que proporcionaban una imagen prestablecida de la naturaleza. En la mecánica newtoniana el tiempo no tiene dirección, todas las ecuaciones son reversibles. Es entonces cuando nace la termodinámica y su inquietante segundo principio, que impone la irreversibilidad del tiempo y una dirección definida para los cambios. Es así como en Biología la termodinámica ha encontrado un espacio vasto de aplicación, y se ha convertido en una fuente de recursos conceptuales que ha incidido intensamente en su desarrollo. Esto ha podido ser debido a la gran complejidad inherente a todos los niveles en los que la organización biológica se manifiesta, así como a la necesidad de un tiempo irreversible en el cual enmarcar el proceso evolutivo.

A pesar de lo anterior, la Física y la Biología difieren en su concepción particular del tiempo desde mediados del Siglo XIX. El tiempo para la Física es un tiempo pesimista, es el que arrastra al Universo hacia la muerte térmica, hacia el desgaste de la energía, hacia la incapacidad de producir trabajo, hacia el desarreglo progresivo. El tiempo para la Biología, que es el de la evolución, es por el contrario optimista, es el tiempo del progreso, de la mayor eficiencia, el del trabajo arduo y la especialización.

Pero desde la perspectiva de Prigogine estos tiempos antagonistas también son complementarios, pues el tiempo biológico se puede considerar como una desviación incisiva en el devenir del Universo, un bucle del tiempo termodinámico o, mejor, como una pequeña ola en un océano desbordante. La probabilidad de la existencia de vida es ínfima, solo una excepción, una delicada singularidad le dio origen. La organización se agazapa tímidamente en la jungla del desorden y su tiempo se disuelve, se confunde con el de la segunda ley termodinámica. Por su origen y por su ineludible final, el tiempo de la Biología es el tiempo del caos.

Como resultado de este proceso de mutua colonización entre la Física y la Biología, en la actualidad los seres vivos se consideran como sistemas termodinámicamente abiertos que intercambian materia y energía con el mundo exterior para adquirir y mantener estructuras que, a su vez, son susceptibles de evolucionar.

Para este proceso la teoría termodinámica debía conceder por lo menos dos caracteres especiales a los seres vivos: el primero, se refiere a que los mismos son sistemas termodinámicamente abiertos y el segundo, implica que estos sistemas para mantenerse, desarrollarse y, aún más, para avanzar a estados de mayor complejidad deben evitar el equilibrio. Ya Erwin Schrödinger en 1945, resaltó que si un aumento en el nivel de organización está asociado a una disminución de entropía del sistema, entonces los procesos de crecimiento, diferenciación, especialización y evolución de los organismos sólo se consiguen disipando más entropía de la que se produce al interior de estos sistemas. Este autor acuñó así el término de "neguentropía" para denotar la manera como los sistemas vivos roban orden a su ambiente por medio del flujo negativo de entropía (Jacob, 1986).

La explicación de los sistemas biológicos mediante expansión de la termodinámica de los procesos irreversibles a sistemas abiertos, se caracteriza por el hecho de que el origen de un sistema organizado - cualquier forma de vida, cultura, sociedad, ecosistema - corresponde a una reducción local de entropía. En adición a esto, la termodinámica de los procesos irreversibles muestra que los sistemas organizados sólo pueden constituirse y mantenerse al precio de una fuerte disipación de energía, en otras palabras de aumento de entropía en el entorno que contiene al sistema. Lo que significa que la entropía siempre aumentará en el universo. Es así como el orden produce desorden.

Se observan entonces dos tendencias de sentido opuesto y que son complementarias: el desorden genera orden y organización a partir de interacciones y

restricciones que, a pesar de la escasa probabilidad, dan lugar a soles, organismos y culturas. Así mismo el orden produce desorden, las transformaciones disipan energía, ningún viviente puede escapar a la muerte, los rostros se arrugan, las flores se marchitan, y los soles regresan al polvo.

2.1.3 De la Biología a la Física:

Puede imaginarse una expansión de conceptos, leyes y métodos del campo de la Biología, particularmente de la teoría de la evolución, a las disciplinas Física y Química. Los principales conceptos involucrados serían los de selección, adaptación y competencia.

En este sentido se podría pensar que todos los átomos y moléculas presentan la estructura más apta para interactuar con su entorno, que pueden cambiar azarosamente debido a las fusiones, dispersiones y agitaciones hasta adquirir estructuras temporalmente estables. El principio de selección deriva y se corresponde con el concepto de estructuras operacionales, viables y singulares.

En el universo sólo pueden existir y perdurar los elementos cuya estructura les permita hacerlo bajo los constreñimientos que él impone, bajo la naturaleza de las interrelaciones que pueden establecerse. Es posible que durante la existencia de 15 mil millones de años que se calcula para nuestro universo haya existido infinidad de tipos de partículas y desaparecido otro tanto no aptas estructuralmente para habitar en él. Igual, podríamos esperar que la distribución de los diferentes tipos de partículas no fuera homogénea en todo el universo, sino que cada tipo ocupara el lugar del universo para el cual su estructura le permitiera permanecer, es decir, adaptarse.

De la misma manera podríamos esperar que las partículas se extinguieran, cambiaran, se modificaran, para mejor regular las interacciones con su entorno. Aunado a esto, se puede predecir la existencia de partículas habitando en cualquier lugar de universo, las generalistas, que pueden adaptarse a una gran diversidad de condiciones y establecer el mayor número de interrelaciones con cualquier otro elemento. Dichas partículas posiblemente sean tan penetrantes, tan autosuficientes, o tan fundamentales para la existencia de los restantes elementos, a los cuales pueden generar mediante su condensación, que podrían habitar todo el universo, y constituir la fuente de la diferencia.

Estas partículas quizás ya han sido predichas por los avances de la física, incluso detectadas al medir la radiación de fondo del universo, me refiero aquí al descubrimiento de los neutrinos masivos que representan el 90% de la masa total del universo (Torres, 1992).

La condensación de los neutrinos masivos pudo producir, protonones, neutrones y electrones. Posteriormente, en medio de un torbellino de encuentros aleatorios pueden soldarse protones y neutrones, más tarde a este conjunto se une el electrón, constituyendo átomos y luego los átomos se unen entre sí para formar moléculas y aparece entonces un orden químico. El devenir de encuentros aleato-

rios bajo condiciones particulares produce las primeras agrupaciones de moléculas que conforman la vida, que cambian con el tiempo y originan la complejidad biológica de la cual a su vez se generó nuestro orden social.

2.2 Las relaciones entre el Todo y las Partes:

De este punto en adelante, la naturaleza de la argumentación cambiará sensiblemente. Hasta aquí he hecho una exposición de algunos de los principales aspectos de la historia de la Física y la Biología, de algunas de sus diferencias sustanciales y de algunos puentes conceptuales de interacción. Ahora, entendiendo estas dos disciplinas como partes constitutivas de un sistema de conocimiento, que definiré más adelante, pasaré a exponer algunas de las relaciones que se establecen entre el Todo y las Partes.

Von Bertalanffy publicó en el año de 1968 la obra titulada: "*Teoría General de los Sistemas*", en la que considera al Sistema como un Todo no reductible a las Partes. Esta teoría ha percibido de manera simplista - en términos de este ejercicio se diría Holista - a los sistemas. Al enfocarse en los atributos comunes que caracterizan todos los sistemas ha operado una reducción al Todo. Sin importar cual sea la naturaleza del sistema, sin detenerse en las particularidades que les confieren singularidad y resistencia a cualquier homogeneización de paradigma, de concepto o de método.

La Teoría General de Sistemas al postular que el Todo es más que la suma de sus Partes ha percibido de manera parcial las relaciones que se pueden establecer entre el Todo y las Partes. Un espectro más amplio de estas relaciones se puede enumerar como sigue (Bertalanffy, 1976; Morin, 1986):

- El Todo es más que la suma de las Partes. Esto hace clara alusión a la cuestión de las emergencias, entendidas como propiedades y cualidades novedosas, como el surgimiento de niveles de organización diferentes. Las emergencias son el producto de la interrelación entre las Partes y difieren de las cualidades y propiedades de las Partes consideradas por separado o en otro tipo de interacción.

- La Parte es en y por el Todo más que la parte. Se trata aquí de las microemergencias, es decir aquellas propiedades de las Partes que sólo se expresan en el contexto del Todo y por acción de las relaciones establecidas con los demás elementos constituyentes del sistema. La Parte no expresa esas propiedades si se le considera aisladamente o en un sistema diferente.

- El Todo es menos que la suma de las Partes. Entramos al campo de los constreñimientos, de las limitaciones, de los grados de libertad. La organización del Todo impone cierto tipo de interrelaciones, interdependencias, jerarquizaciones entre las Partes, que no permite que todas las cualidades de cada una de las Partes se expresen. De esta forma el Todo es más que la suma de las Partes, pero estas Partes están amputadas. En el contexto del Todo, de su organización, parece que se ejerce una selección - elección de las cualidades de cada parte que pueden expresarse. Existen potenciales dormidos, recesivos, que no se expresan en las

Partes. En este sentido, podría hablarse de Partes con mayor jerarquía que otras, según el grado en que sus cualidades se expresen o no en el sistema.

- La Parte es en y por el Todo menos que la Parte. No todas las propiedades y cualidades de cada una de las Partes consideradas aisladamente, ellas mismas como un sistema, se expresan cuando la Parte se organiza en el contexto del Todo. Es decir, cada elemento constitutivo de un sistema tiene propiedades ocultas, potencias reprimidas, ases bajo la manga, que quizás sólo puedan expresarse -lo que implica una nueva represión de otras cualidades - mediante una perturbación que actúe sobre el Todo, cambiando las condiciones de interrelación entre los elementos, modificando la organización del sistema. El Todo sacrifica las Partes.

La perspectiva Holista es un intento de "reducir" la explicación de las Partes al Todo, y se percibe entonces como una herramienta del quehacer científico que intenta encontrar las leyes generales que puedan aplicarse a cualquier sistema. El Reduccionismo es la explicación del Todo que acude a las propiedades de las Partes, es decir a las características de la unidad fundamental, o en otras palabras y en el sentido de reducción que se ha manejado en esta exposición, es la interpretación de cualquier fenómeno u objeto desde las leyes y conceptos de la Física, que adquiere así el rango de parte, o disciplina, fundamental, o de mayor jerarquía. Se percibe entonces que, tanto el Holismo como el Reduccionismo, son estrategias mutilantes y mutiladas. Las perspectivas holista o reduccionista aparecen similares, concurrentes, si se tiene en cuenta que las dos ejercen una simplificación del fenómeno que pretenden explicar.

Las dos perspectivas se rechazan entre sí, son mutuamente excluyentes, antagonistas, y de alguna manera son también semejantes; sin embargo, es posible que las consideremos como perspectivas complementarias intentando establecer un diálogo entre estas dos concepciones.

3. HIPOTESIS: EL QUEHACER CIENTIFICO COMO ACTIVIDAD INTEGRADORA O EL DIALOGO ENTRE LAS PERSPECTIVAS HOLISTA Y REDUCCIONISTA.

Para la exposición de la Hipótesis primero propondré una definición arbitraria de lo que se podría llamar "sistema de conocimiento científico". Este sistema está constituido por fenómenos, hechos y eventos (esto hace alusión al peso que nuestro aparataje biológico tiene sobre nuestras posibilidades de interpretación de lo que llamamos universo), y por el conjunto de conceptos, leyes, métodos, modelos, teorías, ciencias y paradigmas que han existido desde mediados del siglo XVII (punto de partida arbitrario en el que aparecen los primeros rasgos del pensamiento moderno). Como en cualquier sistema, todos estos elementos están en constante interacción, se encuentran en mutua interdependencia y cada elemento constitutivo sólo se puede explicar en relación a los otros. También es necesario recordar que este sistema, como cualquier otro, es dinámico, cambia con el tiempo y este cambio es producido por la variación de las interacciones establecidas entre sus elementos constitutivos, por la pérdida o aparición de un nuevo

elemento y/o por la dinámica misma de cambio, de transmutación, de cada uno de los elementos, considerados ellos mismos como un sistema.

En el contexto de este sistema y ubicándonos en el nivel de interacciones teóricas entre las diferentes disciplinas científicas, podría llamarse explicación reduccionista a aquella que intenta describir cualquier fenómeno u objeto basada en los conceptos y leyes físicas, mediante la descomposición en sus elementos simples y las reglas simples que generan su complejidad.

Así, hilando en la ruta de reducción fisicalista encontraríamos primero a la Química, luego a la Biología. En esta última se encontrarían más susceptibles a la estrategia reduccionista la Biología Molecular, la Genética y la Biotecnología. Avanzando un poco más y teniendo en cuenta que la Fisiología se ocupa especialmente de la investigación causal de algunos comportamientos sencillos por ejemplo, el latido cardíaco, respiración, contracción muscular, no es de extrañar que esta disciplina fácilmente pueda ser traducida en términos físicos.

En el campo de la Etología, las escuelas mecanicistas están convencidas, desde Renato Descartes, de que cualquier comportamiento puede ser explicado en última instancia por las leyes fundamentales de la mecánica, rechazando el concepto de instinto de los vitalistas. Así mismo, los behavioristas americanos o conductistas coinciden con la escuela mecanicista, rechazando los términos subjetivos tales como sensación, atención, voluntad, etc, y afirmando que sólo pueden demostrarse los estímulos y las reacciones, así como las relaciones existentes entre ellos (Lorenz, K., 1978; Eibl-Eibesfeldt, 1974). En general, en la actualidad se admite que parte del comportamiento de las especies está determinado por sus características genotípicas, lo que insinúa una determinación genética y por tanto una posible explicación de naturaleza física.

Por otra parte, en el proceso de desarrollo de las ciencias sociales y humanas, en algún momento se introduce la noción de individuo como producto natural, es decir, de especie. Esto pudo ser gracias a la proyección de conceptos y conocimientos desde las ciencias naturales, especialmente de la Ecología, la Etología y muy particularmente del comportamiento de los primates y la prehistoria homínida. En ese instante se crea un nuevo nivel de interrelaciones en el sentido especie-individuo-sociedad, en otras palabras, Biología-Antropología-Ciencias sociales. Lo que parece indicar cierta reducción inicial de los aspectos sociales al campo antropológico y luego este conjunto al campo biológico.

Hasta aquí, y sin entrar en mayores detalles, parece evidenciarse una cadena de reducciones de la siguiente manera: Sociología -> Antropología -> Biología -> Química -> Física.

A esta reducción teórica podemos añadir una reducción de estilo fenomenológico. Recordemos, como ya lo manifestaba Thomas Kuhn, que todo concepto remite no solamente al objeto concebido sino también al sujeto que lo concibe, el conceptuador. En otras palabras, el individuo conceptuador no logra aislarse del momento histórico y cultural, del consenso y disenso del conocimiento de su época. De esta forma todo conocimiento físico, químico, biológico, antropológico,

económico, psicológico etc., implica una determinación cultural. Podemos considerar entonces, como Briggs y Peat (1989) haciendo una ampliación de los conceptos de Kuhn, que las teorías son espejos de especulación especular en las que se refleja no solamente su autor y su historia particular sino también el momento histórico y cultural en que la teoría es generada.

Así pues, y como ya lo ha expuesto Morin (1986), parece que todo nuestro conocimiento científico se inscribe dentro de un paradójico círculo de interdependencias, o acaso el nudo gordiano: Sociología -> Antropología -> Biología-> Química -> Física -> y nuevamente Sociología. Aparece toda una suerte de continuo, en la que cada disciplina incide sobre las demás. Surge entonces una faceta paradójica del reduccionismo interdisciplinario, éste más que ser una cadena sucesiva de reducciones hacia la física se convierte en una suerte de interdependencias entre todas las disciplinas científicas.

En adición, el Reduccionismo, al igual que su contraparte en esta dicotomía, el Holismo - definido como la búsqueda de los atributos que caracterizan a todos los sistemas, no importa cuál sea su naturaleza o su afinidad disciplinaria, y de los conceptos y leyes que los explican -, fallan, ya que pasan por alto, no solo la singularidad de los eventos u objetos de estudio, sino también, las potencialidades, los alcances y limitaciones, de los conceptos y leyes propios de cada una de las disciplinas científicas que intentan interpretarlos. Se puede considerar que los esquemas de explicación holista y reduccionista están mutilados, ellos solo pueden aportar una parte de la gama total de la explicación que se puede ofrecer de un fenómeno o un objeto.

No podemos explicar lo que es un lago analizando las características de la molécula de agua (Reduccionismo), pero tampoco por su macroaparición: forma, tamaño, color, etc. (Holismo). Es necesario un estudio más complejo e integral, que comprenda el análisis de cada una de las Partes por separado y de sus interrelaciones con los demás constituyentes, así como de las macropropiedades del sistema en referencia.

Surge entonces lo no simplificable, lo incierto y lo confuso del conocimiento o mejor de la posibilidad del conocimiento. En el sistema de conocimiento científico que he definido, las Partes, por ejemplo cada una de las disciplinas científicas, sólo son formas de abstracción a partir de una Totalidad fluida, son notas de una misma sinfonía, siempre en versión preliminar que el *Homo sapiens* está componiendo.

En esta sinfonía, la explicación de un fenómeno es algo así como la interpretación de una orquesta que no sigue una partitura predefinida, y que por el contrario innova con cada acorde. La composición de cada instrumento interactúa con el resto de la orquesta para dar lugar a un sin número de conexiones coherentes y armónicas. En el sistema de conocimiento científico, el conocimiento es la sinfonía, el conjunto de disciplinas científicas constituyen la orquesta y su composición puede dar lugar a un sin número de conexiones lógicas, razonables y coherentes, que utiliza como materia prima conceptos, leyes, principios, métodos

y teorías de diferentes disciplinas científicas. Esta sinfonía también está en constante creación, mediante la innovación, reemplazo y bifurcación al nivel de esos mismos conceptos, leyes, principios, métodos y teorías. En este ejercicio, cuando revisamos algunos aspectos de la historia de la Biología y la Física, de sus interacciones conceptuales, y el pacto de complementariedad entre las nociones de orden y desorden, ya hemos revisado una muestra de lo que podría ser esta sinfonía.

Es indispensable abordar la singularidad de los objetos de estudio desde diversos ángulos, mediante la puesta en escena de conceptos, leyes y métodos propios de diversas disciplinas, y de sus interacciones. Igualmente, es necesario hacer un intento por identificar los alcances y limitaciones de las herramientas teóricas a la mano. Así mismo, se debe advertir, como ya lo mencioné, la predeterminación antropológica que incide sobre todos los productos de la idiosincrasia humana.

Así el arte y la habilidad del teórico, quien posiblemente ya no podrá trabajar aisladamente - razón más para justificar la existencia de este grupo y la interacción fuerte, casi en el sentido físico, que se debe establecer entre los miembros del mismo mediante el intercambio de información, de crítica y experiencia - se basa en su capacidad de articular los diversos puntos de vista, los conceptos, leyes y métodos de diferentes campos disciplinarios, que están dispersos en la historia de nuestro sistema de conocimiento científico.

La ciencia debe instalarse más allá del Holismo y el Reduccionismo y debe ser considerada como una "actividad integradora". Esta hipótesis no solamente puede ayudar a superar la dualidad Holismo -Reduccionismo, mediante la generación de explicaciones de carácter integral, sino que puede ayudar a vislumbrar nuevos conceptos, relaciones entre conceptos, teorías, paradigmas, es decir, la esencia fundamental de Quehacer Teórico.

Esta hipótesis también permitirá contener el surgimiento de una torre de Babel, en la que las distintas disciplinas científicas, ya no se podrán comunicar, en la que se perderá toda noción de contexto, en la que los diferentes saberes se disgregarán, se puntualizarán y sólo tendrán interés para el superespecialista. Todo lo anterior es además una justificación de la necesidad de contar con un espacio como el de este Seminario, como el del Grupo de Ciencia Teórica, en el cual nos hemos congregado un grupo de investigadores representantes de diversas disciplinas, interesados en el ámbito de la especulación conceptual, para discurrir sobre temas de interés común, en este caso particular respecto de las estrategias del quehacer científico, en dos de sus manifestaciones..... las perspectivas Holista y Reduccionista.

BIBLIOGRAFIA

- ALEXANDER, R., 1987. Darwinismo y asuntos humanos. Barcelona, España, Salvat Editores S.A., 284 págs.
- BERTALANFFY, L. Von, 1976. Teoría General de los Sistemas. México D.F., Fondo de Cultura Económica, 311 págs.
- BRIGGS, J.; PEAT, D., 1989. A través del maravilloso espejo del universo. Barcelona, España, Editorial Gedisa S.A., 312 págs.
- BRIGGS, J.; PEAT, D., 1991. Espejo y reflejo: del caos al orden. México, Editorial Gedisa Mexicana S.A., 222 págs.
- BOWLER, P., 1985. El eclipse del Darwinismo. Teorías evolucionistas antidarwinistas en las décadas entorno a 1900. Barcelona, España, Editorial Labor S.A., 286 págs.
- DESCARTES, R., 1977. Discurso del Método. Puerto Rico, Editorial Universitaria, 239 págs.
- EIBL- EIBESFELDT, I., 1974. Etología: Introducción al estudio comparado del comportamiento. Barcelona, España, Ediciones Omega S.A., 643 págs.
- HAWKING STEPHEN, 1989. Historia del tiempo. Bogotá, Colombia, Editorial Grijalbo S.A., 245 págs.
- KUHN THOMAS, 1962. La estructura de las revoluciones científicas Fondo de Cultura Económica. Santa Fé de Bogotá, D.C., 319 págs. Barcelona, España.
- LORENZ, K., 1978. El comportamiento animal y humano. Barcelona, España, Plaza & Janes S.A.
- MORIN, EDGAR, 1986. El Método: la naturaleza de la naturaleza. Madrid, España, Editorial CA-TEDRA, 448 págs.
- MOROWITZ, H., 1978. Entropía para Biólogos. Introducción a la termodinámica biológica. Madrid, España, H. Blume Ediciones, 194 págs.
- MUÑOZ, J., 1993. Evolución, Tautología y Ciencia. (ms)
- ROSTAND, J., 1985. Introducción a la historia de la Biología. Bogotá, Colombia. Planeta De Agostini, S.A., 211 págs.
- RUSE, M., 1987. Tomándose a Darwin en serio. Barcelona, España. Salvat Editores, S.A., 388 págs.
- TORRES, S., 1992. El origen del universo. Revista Ciencia y Tecnología.9,(3), 29 -31

Un modelo neuronal relativo al concepto Saussuriano Hielmsleviano de signo

Carlo Federici Cassa

RESUMEN

En este trabajo se presenta un modelo de red neuronal (a la manera de McCulloch), cuyo funcionamiento puede aclarar el concepto de signo según de Saussure y Hjelmslev.

SUMMARY

This work presents a model of neuronal net (as McCulloch), which function can clarify the concept of sign according to de Saussure and Hjelmslev.

El presente modelo neuronal relativo al concepto Saussureano-Hjelmsleviano de signo es un ejemplo extremo, creo yo, de reduccionismo; por este motivo lo presenté en este Seminario.

La idea de este modelo surgió en mí hace algunos años, y más precisamente cuando pude lograr, en términos de lógica la «ecuación» de una red neuronal, dibujada por McCulloch, y cuyo funcionamiento explica claramente, y en lo esencial, el reflejo condicionado de Pavlov.

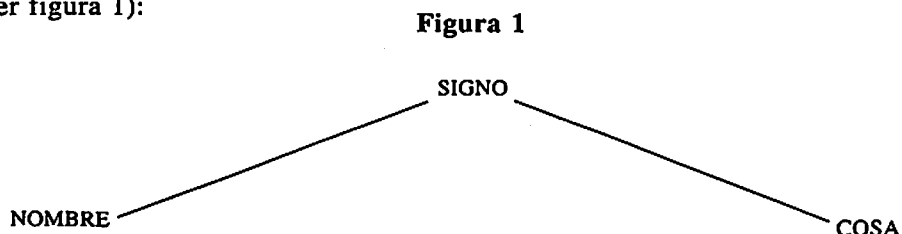
La red neuronal que presento busca también, como la de McCulloch lo hace con el reflejo condicionado, aclarar la función de aquella entidad «mental» que usualmente se llama «signo» y que según Saussure, es una «combinación» de un signi-

ficante y un significado. En la práctica lógico-matemática lo anterior se expresa diciendo que: «el signo es la dupla (ordenada) del significante con el (relativo) significado», y se escribe así:

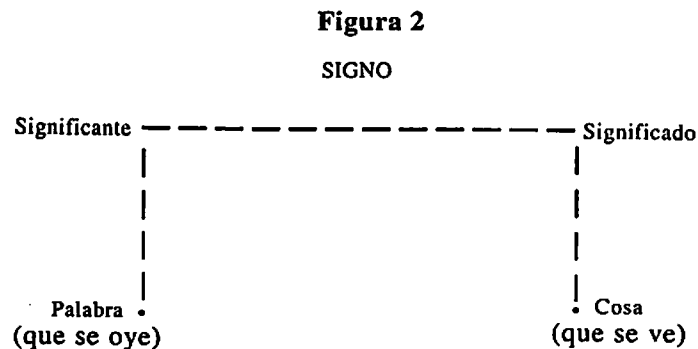
signo = (significante; significado),

en donde la preposición «con» pone en evidencia lo que Hielmslev llamó la «solidaridad» o «interdependencia» de los «funcivos» de la relación «es el signo» como en « /taza/ es el signo de taza».

Esta relación se puede representar con el tripunto bilátero de Ogden-Richards (ver figura 1):



y más analíticamente por el cuadrípunto trilátero de Hielmslev (ver figura 2):



Este diagrama pone en evidencia la dupla «mental» (significante; significado) y la relativa dupla «extra-mental» (palabra; cosa) Pero, qué es el significado con respecto a la cosa (o al evento, es decir, al cambio de la cosa)?.

Parece, por lo menos al que escribe, que no hay más remedio sino definirlo como «la huella mnémica de cosas semejantes y semejantemente manipuladas», en donde «semejantes» significa «diferentes pero in-diferentes con respecto a su uso, a su manipuleo,... a un aparato». (Piénsese por ejemplo, cuando decimos que una balanza determina la igualdad de masa de dos cosas). Lo anterior induce a decir que el significado relativo a una cosa es la imagen, la silueta, el perfil

familiar de «la cosa para mí» o mejor de «la cosa para nosotros» miembros de una comunidad.

Se puede expresar lo mismo diciendo que en el significado se da la relación de la cosa con el sujeto y, por lo tanto, se puede definir el significado como un feno-praxema.

Análogamente el significante se puede definir como «la huella mnémica de palabras semejantes y semejantemente expresadas», es decir, considerar el significante como un feno-praxema.

El análisis, muy brevemente expuesto, sugiere que la red neuronal, modelo del proceso signficatorio, deba contener:

- a) Dos subredes mnémicas: la fémica-praxémica, es decir la de la palabra, (el significante) y la fénica-praxémica, la de lo estésico-motor (el significado), es decir de los sentidos (y aquí, por la sencillez, se consideró solamente el visivo), lo que induce a pensar en dos circuitos reberverantes con las relativas entradas, la auditiva y la visiva, y las dos salidas praxémicas, la fonatoria y la motora.
- b) Una sub-red que liga las anteriores y que «representa» la «solidaridad» de que habla Hielmslev (o la combinación de Saussure).

Es precisamente la red presentada en la figura 3, y que a continuación se describe usando la figura 3.

Las entradas son:

A: auditiva

A': visiva

Las salidas son:

D: fonatoria

D': motoria

Los circuitos reberberantes son:

B C D : femo-práxico

B'C'D' : feno-práxico

Las demás «neuronas» son las que unen en una dífasa los circuitos reberverantes; el complejo de la misma se podría llamar el complejo de solidaridad o de Hielmslev.

Los números 2 y 3 que encabezan M;M' y L;L' indican sus umbrales respectivamente.

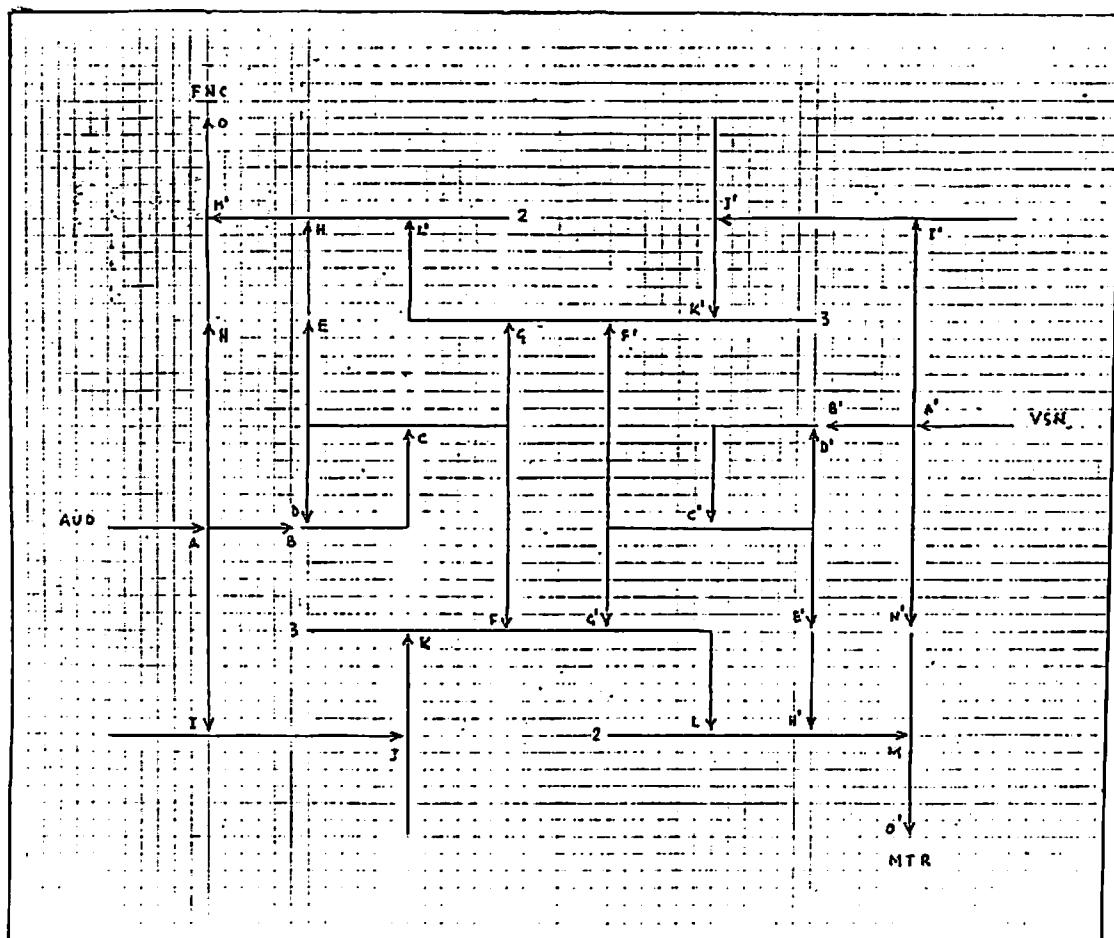


FIGURA No. 3

**PUBLICACIONES RECIENTES DE
LA ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS,
FISICAS Y NATURALES**

Colección Jorge Alvarez Lleras

- Volumen 1 - Mora, L.E. 1987. Estudios morfológicos, autoecológicos y sistemáticos en Angiospermas. 1/16. 196 pp, 75 figs.
- Volumen 2 - Murillo, M.T. & M.A. Harker. 1990. Helechos y plantas afines de Colombia. 1/16. 326 pp, 145 figs.
- Volumen 3 - Lozano Contreras, G. 1994. Las Magnoliaceae del Neotrópico 1/16 148 pp, 57 figs.
- Volumen 4 - Eslava, J. Aspectos relacionados con la erupción del volcán Nevado del Ruiz. 1/16 174 pp, 46 figs.
- Volumen 5 - Rocha Campos Marta. Diversidad en Colombia de los Cangrejos del género *Neostrengerfa*. 1/16 IV + 144 pp, 47 figs.

Colección Enrique Pérez Arbeláez

- Volumen 1 - Memorias del Seminario en conmemoración del Centenario de Erwin Schrödinger. 1/16. 221 pp.
- Volumen 2 - Díaz, S. & A. Lourteig. 1989. Génesis de una Flora. 1/16. xii. + 362 pp, 35 figs.
- Volumen 3 - Cubillos, G., F.M. Poveda & J.L. Villavecés. 1989. Historia Epistemológica de la Química. 1/16. 128 pp.
- Volumen 4 - Hernández de Alba, G. & A. Espinosa. 1991. Tratados de Minería y Estudios Geológicos de la época Colonial, 1616-1803. 1/16 xii + 92 pp, 1 fig.
- Volumen 5 - Díaz-Piedrahíta, S. (Editor) 1991. José Triana, su vida, su obra y su época. 1/16 Viii + 188 pp, 73 figs.
- Volumen 6 - Díaz-Piedrahíta, S. 1991. La Botánica en Colombia, hechos notables en su desarrollo. 1/16 x + 126 pp, 30 figs.
- Volumen 7 - Mantilla, L.C. & S. Díaz-Piedrahíta. 1992. Fray Diego García, su vida y su obra científica en la Expedición Botánica. 1/16 xv + 284, 14 figs.
- Volumen 8 - Arias de Greiff, J. 1993. Historia de la Astronomía en Colombia. 1/16 200 pp, 23 figs.

Colección Julio Carrizosa Valenzuela

- Volumen 1 - Castillo, G. 1992. Física Cuántica, teoría y aplicaciones. Tomo primero. 1/16 xxxii + 410, 77 figs.
- Volumen 2 - Bernal de Ramírez, I. 1993. Análisis de Alimentos. 1/16 XVIII + 314 pp, 28 figs.
- Volumen 3 - Castillo, G. 1994. Física Cuántica, teoría y aplicaciones. 1/16 Tomo segundo (Próximo en aparecer).

Colección Memorias

Volumen 1 - Memorias del Seminario Nacional "El quehacer teórico y las perspectivas holista y reduccionista 1/16. VIII + 184 pp.

Volumen 2 - Memorias del Seminario Konrad Lorenz sobre Etología. 1/16 IV + 38 pp.

Las anteriores publicaciones pueden ser solicitadas directamente a la Academia,
Apartado **44763**, Santafé de Bogotá, D.C., o Fax **(571) 2838552**.

Se ofrecen en venta o mediante intercambio por publicaciones similares.

