

# *Bioética y Biotecnología en la perspectiva CTS*

---

*Mario Fernando Castro Fernández,*

---

*Yahayra Bernal González, Jaime Escobar Triana,*

---

*Gilbert Hottois, Carlos Eduardo Maldonado,*

---

*Juan Mendoza-Vega, Rosalba Durán,*

---

*Jairo E. Márquez D., Gilberto Cely Galindo*

---

22

COLECCIÓN BÍOS Y ETHOS  
EDICIONES EL BOSQUE

*Bioética y Biotecnología en la perspectiva CTS*

COLECCIÓN  
BÍOS Y ETHOS

**Mario Fernando Castro Fernández, Yahayra Bernal González,  
Jaime Escobar Triana, Gilbert Hottois, Carlos Eduardo Maldonado,  
Juan Mendoza-Vega, Rosalba Durán, Jairo E. Márquez D., Gilberto Cely Galindo**

*Bioética y Biotecnología  
en la perspectiva CTS*



22

COLECCIÓN BÍOS Y ETHOS

---

EDICIONES EL BOSQUE

1a. Edición, Enero 2004  
2a. Edición, Agosto 2004

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del "copyright", bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción parcial o total de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares mediante alquiler o préstamo públicos.

© De cada texto su autor  
© 2004 por Universidad El Bosque  
de todas las Ediciones,  
Ediciones El Bosque  
Transversal 9A Bis No. 132-55  
PBX: 633 1368 - 633 1320  
Página web: [www.unbosque.edu.co](http://www.unbosque.edu.co)  
Fax: 625 2030  
E-mail: [unibosque@unbosque.edu.co](mailto:unibosque@unbosque.edu.co)  
**Programa de Bioética:**  
Calle 130B No. 10A-39  
Bogotá - Colombia

ISBN 958-96186-1-8 (Obra Completa)  
ISBN 958-8077-61-3 (Volumen 22)

Diagramación e Impresión:  
Editorial Kimpres Ltda.  
PBX: 413 6884  
E-mail: [info@kimpres.com](mailto:info@kimpres.com)  
Bogotá, D.C., Colombia  
Agosto 2004

## TABLA DE CONTENIDO

PRESENTACIÓN .....	9
Biotecnología y medio ambiente: entre temores y esperanzas .....	13
<i>Mario Fernando Castro Fernández, Yahayra Bernal González</i>	
Algunos aspectos de la clonación de seres humanos .....	35
<i>Jaime Escobar Triana</i>	
¿Biomedicina o biotecnología aplicada al hombre? .....	59
<i>Gilbert Hottois</i>	
Construyendo la evolución. Una defensa fuerte de la biotecnología .....	81
<i>Carlos Eduardo Maldonado</i>	
Bioética, biotecnología y conciencia social .....	105
<i>Jaime Mendoza-Vega</i>	
Una aproximación filosófica a los conceptos de ciencia y naturaleza ...	115
<i>Rosalba Durán Forero</i>	
Nanobiotecnología .....	135
<i>Jairo E. Márquez D.</i>	

Dimensión bioética de la realidad virtual .....	213
<i>Gilberto Cely Galindo</i>	

# PRESENTACIÓN

El desarrollo tecnocientífico ha permitido el entrecruzamiento entre tecnología y sociedad caracterizando nuestro actual mundo como una cultura en vía de planetarización. La tecnociencia se relaciona con la ética, la política, el sistema jurídico, la religión, el arte, el sistema educativo y todos los subsistemas derivados de ellos. Estas relaciones y especialmente las intervenciones que tienen que ver con la biotecnología, plantean problemas que involucran la vida en general y la humana en particular, e interpelan a la bioética dados los conflictos morales que surgen por la acción humana en ambos aspectos.

La edad en que vivimos es quizás única, pues a diferencia de épocas anteriores sus problemas y posibilidades provienen de una misma fuente: los logros extraordinarios de la ciencia y la tecnología. El nuevo poder sobre la naturaleza incluidos los humanos como parte de ésta, y sobre la totalidad del planeta (gaia), determinará el futuro de la civilización y depende del uso inteligente que le demos a las tecnologías. Interrogarse a sí mismos, cómo es que los humanos y su cultura a lo largo de la historia trasciende la naturaleza, los ha hecho característicamente más humanos y no sólo animales. Hoy el interrogante es cuál es el significado y la influencia de la tecnociencia sobre la organización de la vida social humana. La transformación de la realidad por el poder de la tecnología se presta a profundos análisis filosóficos sobre los vastos modos en que la tecnociencia ha transformado y continúa transformando aceleradamente las redes sociales y formas de vida, las posibilidades humanas y de los demás vivientes. Los vivientes para mantenerse como tales, deben alejarse del equilibrio termodinámico manteniendo distancia, desafiando la entropía por medio

del intercambio continuo de materia, energía e información. Esta necesaria apertura del ser vivo lo hace débil y precario, al borde del caos y expuesto al peligro permanente de la muerte.

El noveno Seminario Internacional: *Bioética y Biotecnología en la perspectiva CTS*, pretende mostrar algunos aspectos de estas relaciones con una mirada bioética, interpelada ésta por los desarrollos de la tecno-ciencia que ponen en juego el destino, el sentido y las posibilidades de la evolución de la vida en todas sus formas.

Las relaciones entre los artefactos tecnológicos y la cultura nos permiten, en forma no directa con nuestra experiencia sensorial corporal, estar en relación con el mundo por medio de dichos artefactos. Las formas extremas en que se aborda esa relación se ubican en el instrumentalismo en que se ve la tecnología como herramienta para realizar ciertas tareas en forma neutral. De otra parte, el substantivismo, no considera neutral la tecnología, sino como un poder independiente que altera la cultura drásticamente. La tecnología, así, siempre origina nuevas tecnologías, sigue su propia dinámica, no se detiene con nada y carga en sí misma su propia cultura. La tecnología tiene un poder revolucionario en la sociedad, en la política y desde luego en la cultura.

Una tercera visión de la tecnología no está de acuerdo con las anteriores y sólo puede entenderse en relación con los humanos, en el contexto cultural que están envueltos, sin que puedan existir tecnologías aparte de tales contextos. Por tanto las tecnologías no existirían en sí mismas, sino siempre relacionadas en orden con los humanos y su cultura.

La evolución ha adquirido un auge acelerado a ritmo exponencial con las tecnologías creadas por el homo sapiens. Esta invención no es sólo una herramienta; implica su registro como un "código genético" del proceso evolutivo de la tecnología que motiva la especie productora de herramientas. Estas tecnologías son en sí mismas una continuación de la evolución por otros medios que permiten al hombre evolucionar sin tener que apelar a la evolución biológica y

ascender en la escala evolutiva. Es interesante anotar que la tecnología como la evolución de los vivientes que la produjeron, sea un proceso intrínsecamente acelerador.

La tecnociencia exige altas decisiones estatales o privadas, utilización de expertos, masiva mano de obra y gran escala de inversiones. Como consecuencia, se llega a la comercialización y a la búsqueda de mayores beneficios económicos, y no sólo el deseo de avanzar científicamente para luchar contra las enfermedades y combatir el hambre.

El homo sapiens utiliza todas las formas de tecnologías incluyendo el arte, el lenguaje y las máquinas que le permiten participar activamente en su propia evolución. Tecnología y ciencia como procedimientos inseparables, como una forma simbiótica, intentan entender y controlar el mundo natural en beneficio de la supervivencia de la humanidad. El anhelo de satisfacer las necesidades humanas y aumentar el bienestar, lleva a obtener de la naturaleza y a transformarla artificialmente para lograrlo, haciendo que cada vez nuestro planeta sea más artificial. Se busca sobrevivir en el medio ambiente inseguro, la consecución de alimento y la satisfacción de las demás necesidades. Es papel de la biotecnología realizar nuevos productos a partir de organismos vivos o sus productos modificándolos de tal manera que el efecto deseado se produzca por medio de procesos biológicos diferentes a la selección y reproducción tradicionales.

Para la bioética constituye un reto en cuanto a la responsabilidad y la dignidad de los vivientes. No podemos congelar la historia; las ideas sobre la naturaleza humana han cambiado en el pasado y seguirán cambiando en el futuro. La tecnología ha transformado en parte los ideales en cada época previa, y de acuerdo con su tecnología contemporánea las visiones acerca de la condición humana.

**JAIME ESCOBAR TRIANA M.D.**  
*Director Programa de Bioética*  
*Mgr. Fil. Mgr. Bioética*

# BIOTECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE: ENTRE TEMORES Y ESPERANZAS

*Mario Fernando Castro Fernández\**  
*Yahayra Bernal González\*\**

*“Al comienzo de la Cumbre, los niños del mundo,  
hablando con voz simple y clara,  
nos han dicho que el futuro les pertenece a  
ellos y, en consecuencia, nos han desafiado a todos  
nosotros a que velemos porque, merced a nuestros  
actos, ellos puedan heredar un mundo libre de la  
indignidad y la indecencia causadas por la pobreza,  
la degradación ambiental y las pautas  
de desarrollo insostenible.”*

*Declaración de Johannesburgo sobre el Desarrollo Sostenible*

## I. INTRODUCCIÓN

**E**n los últimos años del Siglo XX, que vio pasar tantas y tan impactantes innovaciones en diferentes campos del conocimiento humano, un aspecto en particular despertó controversias y argumentaciones de

---

\* Biólogo Ph.D. en Biología Animal, Ecología y Etología. Decano de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad El Bosque.

\*\* Abogada, Especialista en Derecho Público.

† Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible. Johannesburgo, Sudáfrica 4 de septiembre de 2002.

diferente cariz y en toda una gama de manifestaciones: la biotecnología<sup>2</sup>. Este nuevo Siglo XXI, apenas dando sus primeros pasos, ha heredado todas estas discusiones y, sin lugar a dudas, dará lugar aún a muchas más sobre el mismo tema.

Pero, ¿qué hay en la biotecnología que despierta apasionadas defensas y furiosos ataques? Nuestra respuesta se encuentra reflejada en el título de esta breve exposición, el pasmoso desarrollo de la biotecnología ha generado enormes temores al tiempo que da lugar al surgimiento de nuevas esperanzas en el futuro de nuestro mundo, nuestros recursos y la forma en que nos relacionamos con ellos.

Lás nuevas posibilidades que se abren ante nosotros en temas como la clonación y la biología molecular parecen avanzar a un paso mucho más acelerado de lo que lo hace nuestra capacidad de asimilación y juicio sobre sus implicaciones a nivel ético; con todo, la bioética ha venido a llenar los vacíos que nuestras reflexiones tradicionales puedan tener ante las infinitas opciones que la ciencia y la tecnología moderna nos ofrecen.

En el centro de toda esta exaltación se encuentra, indudablemente, el tema ambiental que no es ajeno a la dualidad ya planteada entre el temor y la esperanza como resultado de las perspectivas originadas en las diversas propuestas de aplicación del conocimiento científico que descansan en el presente y futuro de la biotecnología.

Ya en 1972 se proclamaba que “el hombre es a la vez obra y artífice del medio que lo rodea, el cual le da sustento material y le brinda la oportunidad de desarrollarse intelectual, moral, social y espiritualmente. En la larga y tortuosa

---

<sup>2</sup> Que puede describirse como el conjunto de procesos industriales que implican el uso de los sistemas biológicos, aplicación de los principios de la ciencia y la ingeniería al tratamiento de materias por medio de agentes biológicos en la producción de bienes y servicios. Desde el punto de vista científico, es cualquier técnica que utilice organismos vivos o sustancias de estos organismos para hacer o modificar un producto, mejorar plantas o animales, o desarrollar microorganismos, para usos específicos.

evolución de la raza humana en este planeta se ha llegado a una etapa en que, gracias a la rápida aceleración de la ciencia y la tecnología, el hombre ha adquirido el poder de transformar, de innumerables maneras y en una escala sin precedentes, cuanto lo rodea (...). Hoy en día, la capacidad del hombre de transformar lo que lo rodea, utilizada con discernimiento, puede llevar a todos los pueblos los beneficios del desarrollo y ofrecerles la oportunidad de ennoblecen su existencia. Aplicado errónea o imprudentemente, el mismo poder puede causar daños incalculables al ser humano y a su medio”<sup>3</sup>.

Nuestra relación con el medio en el que vivimos, con el planeta que nos ha acunado, ha venido experimentando una serie de transformaciones drásticas a lo largo de tiempo. Del temor a la naturaleza como escenario de crueldad y dureza hemos pasado a la fascinación contemplativa de la pura belleza natural, a través de toda una gama de facetas intermedias que han determinado, a su vez, cambios en nuestro entendimiento del progreso científico y tecnológico e incluso en nuestras posiciones políticas en temas tan importantes como la conservación de los recursos o la sobrepoblación.

También en este recorrido la bioética ha venido a jugar su papel y ya en una oportunidad anterior<sup>4</sup> se nos permitió discurrir acerca de la aplicabilidad de sus principios fundamentales, en el marco de la discusión acerca de la protección del medio ambiente dentro de la perspectiva CTS.

En efecto, los principios de beneficencia, no maleficencia, autonomía y justicia como criterios válidos dentro de la construcción de una ética frente al manejo de nuestros recursos naturales, devienen en la posibilidad de replantearnos los alcances verdaderos de nuestra responsabilidad en el tipo de relación que hemos construido con el ambiente, siempre con la idea de que la vida en sí misma es un valor que debe guiar nuestro comportamiento, sin perder,

---

<sup>3</sup> Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano. Estocolmo, 1972.

<sup>4</sup> Ver: CASTRO F. Mario y BERNAL G. Yahayra. “Bioética, Tecnología y Medio Ambiente”. En *Bioética, Ciencia, Tecnología y Sociedad CTS*. Autores varios, Colección Bios y Ethos No. 20, Ediciones El Bosque. Bogotá 2003.

claro está, la ventaja que nos brinda el poder someter nuestras concepciones y actitudes al juicio racional y a la crítica permanente.

En este contexto, la pretensión fundamental de este trabajo es ir un poco más allá de lo esbozado el año pasado para plantear la posibilidad de considerar otros principios, surgidos en el marco de las discusiones y los acuerdos mundiales sobre protección al medio ambiente, que complementen los cuatro fundamentales ya mencionados, para situar la posición bioética como punto de equilibrio entre el avance biotecnológico y la defensa del medio ambiente.

Así pues, lo que proponemos es una posibilidad de respuesta al desafío planteado por los niños del mundo en la pasada cumbre de Johannesburgo, la bioética constituye, a nuestro entender, la oportunidad de conciliar posiciones que no tienen que resignarse al permanente conflicto, la ciencia y la tecnología no tienen que estar condenadas a la condena de quienes se preocupan por el medio ambiente, al menos no si las abordamos con base en modelos éticos que respondan a los mejores intereses de la humanidad, superando la desconfianza y el miedo.

Sin embargo, es necesario saber de dónde vienen tales sentimientos y si se justifica su existencia en los momentos actuales por lo que empezaremos con una breve descripción de los aspectos de la biotecnología que han despertado los temores globales que hoy han llegado incluso a implicar la disminución de investigaciones de campo en Europa donde los movimientos anti tecnológicos han recibido mayor acogida.

Luego, pasaremos a los aspectos esperanzadores del tema, en los que se justifican sus defensores más acérrimos, para incluir finalmente la presentación de los principios que consideramos que pueden aportar un acercamiento más sano y productivo a las relaciones entre biotecnología y medio ambiente.

Como último punto expondremos las conclusiones más relevantes sobre las que esperamos poder seguir trabajando para hacer de nuestra pretensión

inicial en este trabajo, una posición mucho más elaborada a medida que espacios como este se amplían y aportan elementos de tanta trascendencia, como la reflexión bioética en todas sus dimensiones, a nuestra comunidad académica.

## **II. LAS AMENAZAS DE LA BIOTECNOLOGÍA O EL “SÍNDROME FRANKENSTEIN”.**

En contraposición a la irracionalidad de la superstición y como única vía posible de desarrollo y de superación hacia nuevos estadios de evolución de la sociedad humana, la ciencia recibió su máxima valoración justamente cuando todo el contexto político y social predominante cedía su lugar a una nueva forma de entender las posibilidades de nuestra vida común.

En medio de revoluciones políticas plagadas de implicaciones sociales y económicas, el conocimiento se sintió liberado de las ataduras que lo habían constreñido en el pasado a través de dogmas e inquisiciones. De ahora en más el conocimiento se construiría sobre las bases del método científico, de la racionalidad, de la experimentación y serían esas características las que le brindarían su respetabilidad y credibilidad.

Confiamos en la ciencia como la posibilidad de terminar con las limitaciones del pasado y le negamos reconocimiento a lo que no podía ser probado a través de sus métodos. Pero en este punto empezamos a olvidar, o al menos así lo parecía, que la misma ciencia se veía afectada y en ocasiones determinada por factores externos a ella misma, incluyendo la ideología. Y en esa interrelación descubrimos que también podíamos temerle a la ciencia y a sus productos.

Se dijo que la ciencia y con ella la tecnología se encontraban en una posición de absoluta objetividad, que no podía catalogárselas como buenas o malas y aceptar semejante posición era, de hecho, extraerlas del campo de la ética. Juzgamos el uso que hacíamos de los productos del desarrollo científico pero no al proceso mismo, pero en esa ruta fueron varias las voces que se levantaron y llamaron la atención sobre las posibles consecuencias de una actitud semejante.

Hoy una de esas voces encuentra eco en una expresión que ha obtenido cierto reconocimiento: “franken-foods”; en efecto, hemos vuelto a preocuparnos por nuestra capacidad de crear monstruos y ante la perspectiva de alterar los que consideramos como procesos normales y naturales nos espantan los posibles resultados, en palabras del atribulado doctor de la obra de Mary Shelley: “¿Cómo podría transmitirle la emoción que sentía ante aquella catástrofe o hallar frases que describan el repugnante engendro que, al precio de tantos esfuerzos y trabajos, había creado?”<sup>5</sup>.

La posibilidad de dar lugar a criaturas antinaturales que eventualmente se vuelvan contra nosotros, enfermedades que terminen con la humanidad o que nos obliguen a vivir una vida muy por debajo de los estándares que reclamamos en la actualidad, la visión de un medio ambiente tan alterado y nocivo que ya no podamos seguir viviendo en él. Estos son los temores que subyacen en algunas posiciones ante el avance de la biotecnología, la puerta de entrada a nuestra propia versión real de la pesadilla literaria de Frankenstein.

Pero es necesario hacer una aclaración previa, el uso de biotecnología entendida como el aprovechamiento de organismos vivos para la elaboración de bienes o servicios para nuestro beneficio como especie no es nuevo, ni mucho menos pues la utilización de levaduras, por ejemplo, es una práctica ya milenaria; sin embargo, son los desarrollos biotecnológicos ligados con el avance de la genética los que realmente han encendido nuestras alarmas.

Ahora bien, específicamente en relación con el medio ambiente son varios los temores que se han venido alimentando con campañas informativas, o incluso desinformativas dependiendo de las circunstancias, acerca de las repercusiones de la investigación y la industria biotecnológica alrededor de los recursos naturales que nos sostienen. Aquí tomaremos sólo un par de ejemplos a fin de dar una idea general sobre las discusiones que se vienen presentando en torno al tema.

---

<sup>5</sup> SHELLEY, Mary. *Frankenstein o el moderno Prometeo*, Unidad Editorial S.A., Madrid 1999. Pg. 57.

## **Amenazas a la biodiversidad**

Uno de los aspectos sobre los que más se ha basado la oposición a la investigación en biotecnología ha sido el relativo a la posible amenaza a la biodiversidad por la introducción de los organismos genéticamente modificados. Varias son las posibilidades que se contemplan, una de ellas es que nuestra propia selección artificial perjudique la selección natural con lo que estaríamos obstaculizando el proceso normal de la evolución.

En este caso, podríamos terminar acabando con las especies animales y vegetales que no nos resultan útiles, de acuerdo con nuestro actual entendimiento de su utilidad por supuesto, a favor de otras más productivas en términos de nuestros modelos de consumo, con lo que afectaríamos de manera irremediable el equilibrio de los ecosistemas lo que podría conllevar consecuencias abrumadoras.

También se considera el efecto de la introducción de tales organismos en ecosistemas naturales a los que no pertenecen convirtiéndose en depredadores o en presas, en cualquiera de los casos afectando, nuevamente el balance natural. Como sea, no es aceptable poner en riesgo la diversidad natural, más cuando en los últimos tiempos nos hemos vuelto especialmente sensibles hacia el fenómeno de la extinción y sus repercusiones.

## **Posibles afectaciones a la salud humana**

En relación con las amenazas a la biodiversidad se encuentra también uno de los otros grandes miedos generados por la biotecnología: que sus creaciones lejos de ayudar a los seres humanos terminen siendo un peligro para nuestra salud y continuidad en este planeta.

Al respecto, el que probablemente se ha convertido en el ejemplo más socorrido es el de la experimentación para dotar a ciertas plantas de la posibilidad de defenderse contra las plagas y enemigos naturales a través de procesos de

modificación que permitan brindarles toxinas para atacar dichos peligros. Eventualmente, estas toxinas podrían afectar a los seres humanos y lo que hoy representa nuestro alimento el día de mañana podría ser un veneno creado por nosotros mismos con la consiguiente afectación de las reservas de alimentos.

Por otro lado, están las reacciones alérgicas desencadenadas en ciertas personas e incluso animales por la ingestión de los llamados alimentos transgénicos. Un caso conocido fue el de la paralización de la investigación adelantada por DuPont para introducir un gen de la nuez de Brasil a un tipo de soya, cuando estudios preliminares de la Universidad de Nebraska, sugirieron la posibilidad de alergenicidad de la soya.

Finalmente, se ha puesto de presente la posibilidad de que los mecanismos utilizados para adelantar los procesos de modificación puedan tener resultados inesperados en el consumidor como desatar respuestas de tipo cancerígeno en los individuos. Adicionalmente, se han hecho públicos estudios preliminares sobre la disminución de la población de mariposas monarcas en Norteamérica debido a la siembra de plantas transgénicas que habrían entrado en su alimentación.

Es este, sin lugar a dudas, un horizonte bastante desalentador en cuanto a las posibilidades de la biotecnología para ofrecernos unas mejores condiciones de vida con la alteración de los que hasta ahora han sido nuestros medios de sustento. Con todo, la verdad es que estas y otras amenazas aún están siendo objeto de fuertes discusiones puesto que no contamos con evidencias científicas contundentes acerca de las apocalípticas previsiones de los grupos opositores al progreso de esta área.

Pero lo anterior no debe tomarse con ligereza, la lucha ha pasado por diferentes escenarios y continúa encendiéndose con la participación de los medios de comunicación y de grupos de interés haciendo lobby en instancias muy importantes tanto en contra como a favor de la biotecnología. El llamado en las actuales circunstancias debe ser entonces por la realización de análisis críticos

juiciosos y responsables que puedan brindar conclusiones creíbles y verificables sobre las que podamos tomar decisiones coherentes con nuestros compromisos ambientales con nosotros y nuestros descendientes.

### **III. LA OTRA CARA DEL ESPEJO: LA BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

El otro lado de la moneda es el desarrollo de la llamada biotecnología ambiental, en la que el uso de los avances biotecnológicos no sólo no causa daño al medio ambiente sino que de hecho propone soluciones a los problemas que nuestro manejo tradicional ha venido causando a los recursos naturales. En este escenario la biotecnología de hecho nos demuestra que no todo lo pasado fue mejor y que la actual crisis ambiental a la que nos enfrentamos se debe justamente a algunas de nuestras prácticas más tradicionales en áreas como la agricultura o la minería.

Algunas de las posibilidades más atractivas de la biotecnología en este campo están en la posibilidad de disminuir el uso de plaguicidas en nuestros cultivos destinados a la alimentación, por ejemplo, puesto que el control de plagas podría realizarse por otros medios menos dañinos. La limitación del uso de medios químicos más agresivos y dañinos con el ambiente en procesos como los de potabilización del agua es otra perspectiva sugerente e innegablemente atractiva.

En la recuperación de suelos también puede jugar esta nueva área del conocimiento un papel decisivo, lo que resultaría en un mejor aprovechamiento de superficies hoy abandonadas con la posibilidad de su aprovechamiento en agricultura, por ejemplo<sup>6</sup>, aunque siempre teniendo en cuenta la idea de

---

<sup>6</sup> "En México, por ejemplo, científicos del Centro de Investigación y estudios avanzados de Irapuato han modificado genéticamente plantas de maíz, tabaco y papaya mediante un gen que hace que sus raíces liberen ácido cítrico que libera el fósforo de los demás elementos del suelo. Otros estudios han permitido obtener variedades de arroz y maíz modificados que pueden cultivarse mejor en suelos alcalinos." Fuente: seguridadalimentaria.com

seguridad alimentaria, y en general la bioseguridad, que se ha abierto camino al mismo tiempo que se desarrollan las opciones biotecnológicas de semillas mejoradas y especies más fuertes y resistentes. Otro campo en el que la biotecnología viene desempeñando un rol ambiental y económicamente importante es el de la minería al permitir la optimización de los procesos de obtención de metales como el cobre a través de mecanismos más eficientes, baratos y ecológicos.

“Ejemplo claro de ello es el uso de la bacteria *Thiobacillus ferrooxidans* en los procesos de extracción del cobre y oro. Esta bacteria se encuentra presente de manera natural en ciertos materiales que contienen azufre. De hecho, se alimenta a partir de ellos. Cuando esto ocurre, se provoca la extracción de distintos metales a partir del mineral crudo. Hoy día, cerca del 25% de la producción de cobre a nivel mundial, con un valor cercano a un billón de dólares americanos por año es generado a través de esta tecnología”<sup>7</sup>.

En Colombia, por citar sólo una experiencia, se viene trabajando en un sistema integral para el tratamiento de lodos aceitosos y aguas residuales de la industria del petróleo a través de un paquete tecnológico que incluye procesos de biodegradación estimulada de lodos, inyección de vapor y biosurfactantes, lavado emulsionado, deshidratación y biodegradación de fenoles e hidrocarburos en aguas.

Estos son sólo algunos de los adelantos que emocionan a los partidarios de la biotecnología en el mundo, sin olvidar por supuesto el otro aspecto importante de todos estos avances que es su potencialidad para atacar frontalmente problemas como el hambre, especialmente en ciertas áreas del planeta. Lo que puede lograrse con plantas de cosecha más rápida y con más y mejores frutos, sin la necesidad de gastar dinero adicional en abonos y venenos.

---

<sup>7</sup>

DÍAZ CAMINO, Claudia. Biotecnología y Medio Ambiente. Instituto de Biotecnología de Plantas del National Research Council of Canada 2003.

En este punto, la autora india Suman Sahai plantea una posición interesante sobre el tema al plantear que las discusiones sobre los problemas éticos de la biotecnología son esencialmente occidentales y no pueden universalizarse así no más.

En sus palabras: “(...) las preocupaciones y los dilemas expresados con respecto a la biotecnología en Europa pueden ser válidos para ese continente. Sin embargo, en la India debemos discutir los aspectos éticos de la genética o la biotecnología enraizados en nuestra propia filosofía y religión, que reflejen nuestras necesidades sociales y humanas y resuelvan nuestros dilemas y problemas de una forma que sea la correcta para nosotros. Hay pocas razones para que los habitantes de los países con excedentes alimentarios se entusiasmen con la vía biotecnológica para aumentar los rendimientos del trigo o la papa. Pero, ¿en la India podemos tener la misma percepción? ¿No es menos ético ‘interferir con la obra de Dios’ que permitir que la gente se muera de hambre cuando esas muertes pueden evitarse?”<sup>8</sup>.

Pero a todo esto, puede que el problema más evidente de la industria biotecnológica no se encuentre en las posibilidades mismas de la tecnología sino, volviendo a la ética, en el uso que hacemos de ellas. El control ejercido por grandes compañías multinacionales y los enormes intereses financieros que se mueven detrás de este tema alertan a personas de todas partes del globo sobre los peligros, no de la biotecnología en sí misma, sino del negocio que se ha construido a su alrededor y que incluye derechos de explotación, patentes sobre la vida, márgenes de ganancia desproporcionados, inequidades, ventajas comerciales sobre ventajas humanitarias y ambientales, campañas de desinformación y, por supuesto, irresponsabilidad frente a nuestro compromiso con las próximas generaciones.

---

<sup>8</sup> SAHAI, Suman. *El Falso Debate sobre la Bioética*. Monitor de Biotecnología y Desarrollo, 1999.

#### IV. UNA CUESTIÓN DE PRINCIPIOS

Es justamente frente a este panorama repleto de posibilidades pero también de riesgos, donde la bioética puede prestar su mayor servicio como elemento equilibrante para la construcción de una biotecnología consecuente con nuestras necesidades y las del medio ambiente. En el contexto de un modo de pensar que reconcilie ciencia, tecnología y sociedad la posibilidad de encontrar un elemento de sentido, común a estos tres aspectos de nuestro devenir, es una ventaja que no puede dejarse de lado.

Ese elemento de sentido, en nuestra opinión, tiene que ser la vida. Un mejor entendimiento de lo que es la vida y de lo que implica, lo que estar vivos significa para nosotros y de las condiciones que lo hacen adecuado a las expectativas de un nuevo humanismo. Es aquí donde lo que nos planteamos es una cuestión de principios en la que recuperemos la reflexión ética no sólo como ejercicio académico sino como deber de acción en la construcción de una sociedad más adecuada a las exigencias de nuestro lugar y nuestro tiempo.

Como comentábamos antes, en la anterior versión de este encuentro nos tomamos la libertad de apuntar algunos comentarios respecto a la aplicabilidad de los principios fundamentales de la bioética a la relación entre desarrollo tecnológico y medio ambiente; en esta oportunidad nos gustaría hacer referencia a otros principios sobre los que podría basarse la discusión acerca de la biotecnología, en su situación de ser tecnología en relación con la vida, y el medio ambiente.

Varios de los principios que trataremos se derivan directamente de los compromisos internacionales asumidos por los estados para la protección del medio ambiente y otras son propuestas derivadas de la experiencia del desarrollo humano en su búsqueda por el mejor obrar y el mejor ser y pretenden reflejar no sólo pretensiones de idealismo sino también realidades de la cotidianidad en la que hacemos frentes a sentimientos y elecciones que no siempre se manifiestan como debieran por su posible ausencia de "rigor cientificista". El lista-

do que se dará a continuación es sólo la excusa para una discusión más profunda y una elaboración más cuidadosa en la que esperamos intervengan profesionales de distintas disciplinas pues, de hecho ha surgido del diálogo propiciado por el espacio académico generado al interior del programa de Maestría en Bioética de la Universidad El Bosque.

### **Armonía**

Entre diversos intereses encontrados cuando la disputa entre ellos puede implicar la pérdida de un logro importante en el camino de la solución de problemas acuciantes para la humanidad o, al menos, para sectores de ella.

No siempre los intereses aparentemente contradictorios son irreconciliables pero el compromiso irracional con ellos puede llevar a la pérdida de tiempo y recursos en saboteos mutuos que desgastan inútilmente a los involucrados o, en otras situaciones, esfuerzos importantes se pierden porque las acciones se adelantan desde distintos frentes sin consultar actividades e iniciativas similares en pos de ganancias económicas o reconocimientos personales inocuos.

La armonía también se refiere a la armonización de nuestras prioridades, de distinto tipo, con las necesidades del ambiente en sus procesos naturales de recuperación a raíz de nuestra intervención en las dinámicas de los ecosistemas y a la armonización entre distintos grupos sociales y políticos hacia la consecución de mejores condiciones para todos.

“Lo que se necesita es entusiasmo, pero, a la vez, serenidad de ánimo; trabajo afanoso, pero sistemático. Para llegar a la plenitud de su libertad dentro de la naturaleza, el hombre debe aplicar sus conocimientos a forjar, en armonía con ella, un medio mejor”<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Declaración de Estocolmo, 1972.

## **Precaución**

El principio de precaución está claramente previsto en las declaraciones internacionales pro ambientales desde la de Estocolmo de 1972 hasta Johannesburgo en el 2002 y hace referencia a la debida precaución que debe tomarse cuando, en este caso, la investigación biotecnológica puede causar un daño al medio ambiente, la salud humana, o cualquier otro.

En una situación tal, aún cuando se carezca de certeza científica, debe optarse por lo más seguro puesto que la prevención es siempre mejor que la penosa necesidad de buscar remedios a daños ya consumados. En 1992, este principio específico se expresó así: "Con el fin de proteger el medio ambiente, los Estados deberán aplicar ampliamente el criterio de precaución conforme a sus capacidades. Cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente"<sup>10</sup>.

## **Amor**

El amor entendido en su sentido más amplio de respeto hacia todo lo que nos rodea, implicando aceptación incluso más que tolerancia aunque ésta puede ubicarse dentro de este mismo principio, resume en sí mismo una posición biocéntrica de principio en la que no sólo se valore la vida como proceso biológico sino que se provean las mejores condiciones para su desarrollo y plenitud.

El amor en relación con el medio ambiente nos devuelve la conciencia de ser parte de la naturaleza, de este planeta al que pertenecemos y en cuya lógica se desenvuelve nuestra propia existencia. Superando la pretensión de dominar el mundo natural, para encauzarlo en lo que consideramos útil y provechoso, para empezar a descubrirlo y maravillarnos con todas sus posibilidades y sentidos.

---

<sup>10</sup> Principio 15 de la Declaración de Río, 1992.

## **Equidad**

Evidentemente relacionada con el principio de justicia de la bioética, la equidad implica también la idea de igualdad pero no la igualdad ideal del deber ser, sino la igualdad fundamental que se manifiesta en las desigualdades obvias del ser.

El desarrollo biotecnológico basado en la igualdad debería propiciar, entre otras cosas, elementos de superación de las inequidades económicas y sociales entre personas y países basadas en la injusta repartición de recursos escasos. Nuestro lazo conector: la vida y su evolución, en el amor hacia la vida se crean procesos de equidad entre nosotros, como sociedad, y con el ambiente que nos sustenta.

La equidad también se relaciona con nuestros deberes hacia las futuras generaciones a las que debemos garantizarles la posibilidad de gozar de los recursos con los que contamos ahora y de luchar por la recuperación de algunos que no hemos podido gozar plenamente en nuestro tiempo por la acción de quienes nos precedieron.

## **Información**

Antes hemos hecho referencia a las campañas de desinformación que los distintos bandos en la confrontación contra y pro biotecnología vienen utilizando para soportar sus argumentos y ganarse el apoyo de la opinión pública. Estas campañas de desinformación y la “venta” de conceptos e investigaciones basados en estrategias de mercadeo que apenas tocan los aspectos superficiales no sólo afectan nuestro juicio y capacidad de decisión respecto a los pasos a seguir sino que además golpean la credibilidad de las iniciativas serias y responsables en los distintos campos de trabajo que conciernen a la biotecnología<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> Una aplicación interesante de este principio podría encontrarse en las iniciativas de etiquetado de productos genéticamente modificados, a fin de que el consumidor final tenga la oportunidad de tomar su propia decisión al respecto.

Es justamente aquí donde se insertan los esfuerzos en el campo de la educación que se han visto plasmados en las distintas declaraciones mundiales sobre medio ambiente junto con la necesidad de un libre intercambio de información científica actualizada y de experiencia.

Un principio de información también implica la posibilidad de la participación y del ejercicio de un control sobre los procesos y procedimientos utilizados en la investigación biotecnológica y sobre sus finalidades. La posibilidad de que el público ejerza algún tipo de vigilancia hacia actividades que, eventualmente, puedan significar una afectación real de su modo de vida, sólo puede darse a cabalidad en medio de una sociedad informada e interesada que cuente con todos los elementos para emitir un juicio basado en el análisis crítico racional y no en la explotación del sentimentalismo.

## **Generosidad**

La generosidad, la amplitud, no sólo respecto al conocimiento sino también a los frutos de éste. Todos nos embarcamos en un viaje conjunto en este planeta que nos acoge sin distinciones, las catástrofes que podría generar el mal uso de la biotecnología no harían diferencias entre nacionalidades o identidades corporativas; de ahí, que no se justifique la prelación de la ganancia particular sobre los beneficios sociales. En este tema específico, se requiere la revisión cuidadosa del tema de patentes y las sutiles diferenciaciones que permiten que una persona o una compañía se hagan dueñas de parcelas de vida<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup>

"Los cultivos transgénicos vienen acompañados de las patentes sobre la propia vida. Las patentes sobre organismos vivos o partes de organismos vivos, como genes o secuencias de genes, son un atentado contra la vida y una apropiación indebida de la herencia genética del planeta que pertenece a toda la humanidad y no a unas cuantas transnacionales. El impacto de las patentes sobre los países pobres puede ser de especial gravedad, ya que el control de estas patentes está en más de un 95% en manos de multinacionales (de EE.UU., Japón y la Unión Europea), lo que contribuirá a aumentar las diferencias económicas y el control de la agricultura y de la economía de estos países por unas cuantas transnacionales (actualmente, el 100% del comercio mundial de semillas transgénicas está controlado por cinco multinacionales)." Manifiesto Ecologista de Salamanca sobre cultivos y alimentos modificados genéticamente.

De lo contrario, tal como se estableció en la Cumbre de Johannesburgo, “(...) Corremos el riesgo de que estas disparidades mundiales se vuelvan permanentes y, si no actuamos de manera que cambiemos radicalmente sus vidas, los pobres del mundo pueden perder la fe en sus representantes y en los sistemas democráticos con los cuales estamos comprometidos, y empezar a sentir que sus representantes vienen a ser sólo metal que resuena o címbalo que retiñe”<sup>13</sup>.

En este sentido, la biotecnología debe ir más allá de su interpretación actual según la cual se la ve como “(...) la nueva herramienta tecnológica, única entre las nuevas tecnologías que tiene, por definición, un inequívoco carácter utilitario y comercial”<sup>14</sup>.

## **Responsabilidad**

En las últimas décadas el mundo ha visto cómo los distintos países se reúnen en despliegues de buena voluntad para asumir compromisos de diverso corte con el medio ambiente. Esos compromisos deben ser honrados en todos los aspectos y deben establecerse pautas claras de responsabilidad frente a su desconocimiento.

De hecho, no necesitaríamos ni un solo acuerdo más, ni un tratado, ni una conferencia más en defensa del medio ambiente si tan sólo los planteamientos generales plasmados en Estocolmo, Río de Janeiro y Johannesburgo fueran observados. No podemos quedarnos en meras palabras puesto que nuestra responsabilidad es con nuestra propia supervivencia como especie, requerimos hechos.

Pero también en el marco de la responsabilidad es bueno recordar que en relación con nuestros recursos y posibilidades como naciones, tenemos res-

---

<sup>13</sup> Declaración sobre el Desarrollo Sostenible, Johannesburgo 2002.

<sup>14</sup> OTAIZA VÁSQUEZ, Edgar. “El Boom de la Bioética”, en *El Universal* del martes 07 de octubre de 1997, Caracas Venezuela.

ponsabilidades compartidas pero diferenciadas con el medio ambiente y ello implica el reconocimiento de la parte de culpa que le cabe a cada país en la degradación actual de nuestro medio, una diferenciación que no puede servir como excusa para dejar de tomar los correctivos que estén a nuestro alcance pero que tampoco puede desconocerse por el bien de las medidas que se tomen ahora y en los años venideros, teniendo siempre en cuenta la solidaridad a la par de la equidad, junto con la planeación racional tal como se planteó en el principio 14 de la Declaración de Estocolmo de 1972 sobre el Medio Ambiente Humano.

Recordamos aquí el tenor del Principio 7 de la Declaración de Río: “Los Estados deberán cooperar con espíritu de solidaridad mundial para conservar, proteger y restablecer la salud y la integridad del ecosistema de la Tierra. En vista de que han contribuido en distinta medida a la degradación del medio ambiente mundial, los Estados tienen responsabilidades comunes pero diferenciadas. Los países desarrollados reconocen la responsabilidad que les cabe en la búsqueda internacional del desarrollo sostenible, en vista de las presiones que sus sociedades ejercen en el medio ambiente mundial y de las tecnologías y los recursos financieros de que disponen”<sup>15</sup>.

## **Respeto**

Entendemos el respeto aquí como el reconocimiento a las diferencias y particularidades de distintos grupos sociales, que deben ser tenidas en cuenta en la construcción de los argumentos que permitan delinear una biotecnología compatible con los postulados bioéticos y con el medio ambiente.

En 1972, este principio de respeto se reflejó en el Principio 23: “Sin perjuicio de los criterios que puedan acordarse por la comunidad internacional y de las normas que deberán ser definidas a nivel nacional, en todos los casos será

---

<sup>15</sup> Declaración de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y el Desarrollo, Río de Janeiro 1992.

indispensable considerar los sistemas de valores prevalecientes en cada país y la aplicabilidad de unas normas que si bien son válidas para los países más avanzados pueden ser inadecuadas y de alto costo social para los países en desarrollo”.

Y en 1992 se añadió: “Las poblaciones indígenas y sus comunidades, así como otras comunidades locales, desempeñan un papel fundamental en la ordenación del medio ambiente y en el desarrollo debido a sus conocimientos y prácticas tradicionales. Los Estados deberían reconocer y apoyar debidamente su identidad, cultura e intereses y hacer posible su participación efectiva en el logro del desarrollo sostenible”.

Las posibilidades de la investigación biotecnológica seguirán tropezando con los obstáculos que plantean las condiciones tradicionales culturales y éticas en distintos entornos sociales. Ante estas situaciones la ciencia no puede sólo arrollar con pretensiones de verdad tecnológica y dominación científica sino que debe estar en posibilidad de entablar diálogos fructíferos, desde la base de existencia de comunidades bien informadas, comprometidas y responsables.

### **Ponderación**

Fundamentalmente, nos referimos a la posibilidad de ponderar intereses, necesidades y beneficios. En cuanto a los primeros, no todos los intereses en juego en la carrera por la investigación biotecnológica pueden ser priorizados de igual manera, es evidente que la pura búsqueda del lucro particular, por ejemplo, no puede ponerse por encima de la salud humana o de la protección del medio ambiente.

Igual consideración puede predicarse de las necesidades, hoy día hay una serie de problemas reales que deben ser tratados desde distintas perspectivas, entre ellas la biotecnológica; pero no todas esas necesidades son igual de acuciantes y a pesar de lo poco atractivas que puedan ser desde el punto de vista financiera, aquellas más importantes son las que deben tener la ventaja.

Finalmente, los beneficios ya sean particulares o sociales, financieros o de otro tipo, también deben ponderarse. Nuestra sociedad tiende a darle un valor desproporcionado a las cosas más insignificantes y vamos relegando otras mucho más sustanciales, incluyendo la vida, la salud o la convivencia, estos modelos deben ser superados en todos y cada uno de los aspectos de nuestro devenir incluyendo el desarrollo biotecnológico.

## V. CONCLUSIÓN

Somos concientes de que la discusión sobre un tema tan controvertido como el de la biotecnología y su relación con el medio ambiente no puede agotarse en un espacio tan breve; con todo, afortunadamente estos espacios aunque pequeños existen y vienen ampliándose gracias al trabajo dedicado y comprometido de personas como las que han participado en este encuentro.

Nuestro aporte, si lo es, no pretende más que lograr motivar la discusión y el trabajo de los miembros de esta comunidad académica alrededor de la idea de que la bioética se manifiesta como el punto de equilibrio ideal entre la biotecnología y nuestra preocupación por el medio ambiente, pues las dos parten del amor por la vida en un sentido amplio y activo.

La sostenibilidad predicada de nuestras prácticas cotidianas y en relación con una nueva interpretación del desarrollo exige dar un paso adelante y dejar atrás sin temores ni nostalgias prácticas que, a pesar de ser tradicionales y de venirse aplicando desde hace siglos, no se han mostrado debidamente consecuentes con la responsabilidad que nos cabe en el cuidado del medio ambiente.

También nos exige abrir los ojos y la mente y encontrar en otras tradiciones, algunas veces menospreciadas, salidas creativas y dinámicas a problemas a los que la última tecnología no ha podido dar respuesta. No debemos perder de vista el bosque por fijar la vista en un árbol, sin demasiados esfuerzos o gastos este planeta aún nos ofrece sorpresas y maravillas en campos como la medicina y la nutrición, lo único que debemos hacer es observar y aprender.

Y en ese camino podemos construir nuevas cosas con el insumo de cosas viejas y destruir refugios de falsa seguridad para diseñar unos nuevos, solidariamente y con generosidad y amor; allí encontrará su lugar la biotecnología si aprendemos a tratarla y a dimensionarla como es debido.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- ❑ CASTRO F. Mario y BERNAL G. Yahayra. “Bioética, Tecnología y Medio Ambiente”. En *Bioética, Ciencia, Tecnología y Sociedad CTS*. Autores varios, Colección Bios y Ethos No. 20, Ediciones El Bosque. Bogotá 2003.
- ❑ Declaración de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, Johannesburgo 2002.
- ❑ Declaración de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, Estocolmo 1972.
- ❑ Declaración de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Río de Janeiro 1992.
- ❑ DIAZ CAMINO, Claudia. *Biotecnología y Medio Ambiente*. Instituto de Biotecnología de Plantas del National Research Council of Canada 2003.
- ❑ FUKUDA - PARR, Sakiko. *La Biotecnología y el Medio Ambiente: Replanteamiento de la política Pública*. Revista Opciones, Junio de 2002. Manifiesto Ecologista de Salamanca sobre cultivos y alimentos modificados genéticamente.
- ❑ MARTINELL, Laura. *La Biotecnología y el Medio Ambiente*. Consejo Latinoamericano de Información Alimentaria, México 2001.

- ❑ MUÑOZ RUSTEP, Emilio. *Biotecnología, Medio Ambiente y Sociedad*. Organización de Estados Iberoamericanos, Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación 2002.
- ❑ OTAIZA VÁSQUEZ, Edgar. “*El Boom de la Bioética*”, en *El Universal* del martes 07 de octubre de 1997, Caracas Venezuela.
- ❑ SAHAI, Suman. *El Falso Debate sobre la Bioética*. Monitor de Biotecnología y Desarrollo, 1999.
- ❑ SHELLEY, Mary. *Frankenstein o el moderno Prometeo*, Unidad Editorial S.A., Madrid 1999. Universidad Católica del Uruguay. *Ética, Bioética y Ciencias Agrarias*. Instituto de Ética y Bioética, Montevideo 2000.

# ALGUNOS ASPECTOS DE LA CLONACIÓN DE SERES HUMANOS

*Jatme Escobar Triana MD.\**

## INTRODUCCIÓN

**E**l interés por la clonación de seres humanos tomó gran impulso a raíz de la clonación de una oveja (Dolly) por medio de la transferencia nuclear a partir de una célula somática adulta. No es el primer mamífero clonado sino el primer clon de una célula adulta. Pasado el gran impacto inicial del acontecimiento se han ido decantando las discusiones y controversias sin que por ello se haya perdido la motivación por la clonación y las posibilidades de realizarla aplicándola a los humanos.

Cada vez que se presenta un éxito en el campo de las biotecnologías se produce asombro y sorpresa ante las nuevas situaciones creadas por la investigación, y sus posibles repercusiones sin precedentes en la historia humana. Basta recordar el caso de la píldora para el control natal hacia los años sesenta del siglo pasado, que permitió la separación de la sexualidad y la reproducción, y como consecuencia la liberación de la mujer con proyecciones sociales que cada vez mas vivimos plenamente.

De igual manera, los trasplantes de órganos y en especial el trasplante de corazón, hazaña similar a la llegada del hombre a la luna. También la reproducción asistida (bebé probeta) cuyos 25 años se están celebrando en Londres

---

\* Mgr. Fil. Mgr. Bioética.

en este año. Esto para mencionar solo algunos hechos científicos que nos impactaron pero que como en su caso se están dando hoy a una velocidad cada vez más acelerada de forma tal que es casi imposible asimilarlos aunque también se aceptan prontamente quedándonos a la expectativa del próximo descubrimiento.

La abundante literatura y los debates en torno a la clonación de seres humanos siguen vigentes y los pros y los contras aparecen como aportes a la cuestión, abriéndose un camino de expectativas hacia un futuro inmediato, siguiendo la ley de Murphy de que “todo lo que se puede hacer terminará haciéndose”, sin embargo, pienso que no de cualquier manera, pues como anota W. Sachs (Grace) del instituto Wuppertal: “nada hay más irracional que precipitarse con la mayor eficiencia en la dirección, equivocada”<sup>2</sup>.

**¿Qué es la clonación?** El término deriva del griego Klon, esqueje, y es conocido en la agricultura como una técnica desde los inicios de esta, y como precedente de la investigación biológica moderna. La clonación es una forma de reproducción no sexual que se da en muchas plantas junto a la sexual. En la primera se producen copias genéticamente exactas de la planta, basada en la capacidad de germinación de las células diploides normales. En la segunda sólo se dan espontáneamente copias iguales en los gemelos idénticos.

---

<sup>1</sup> En las formas de relacionarse ser humano- tecnología o tecnología y cultura se encuentran varios enfoques, dos de ellos como posiciones extremas: instrumentalismo y substantivismo. Los instrumentalistas ven la tecnología como una herramienta neutral. Los substantivistas no lo consideran así y creen que la tecnología debe ser entendida como un poder independiente que altera la cultura drásticamente. La tecnología para esta corriente siempre origina nuevas posibilidades y esas nuevas posibilidades son siempre realizadas. El desarrollo tecnológico no se detiene con nada; la tecnología sigue su propia dinámica. Don Ihde: *The Technological Lifeworld*. Verbeek P-P *American philosophy of technology- The Empirical Turn*. Indiana University press, 2001, pág.133.

<sup>2</sup> Citado por, Grace, E. *La Biotecnología al Desnudo. Promesas y realidades*. Anagrama, 1999. Barcelona, pág.11

La palabra clon se utiliza hoy en campos diferentes de la investigación biológica produciendo copias idénticas de una molécula, una célula, una planta, un animal o un ser humano<sup>3</sup>.

Las aplicaciones en la medicina con la producción de fármacos es uno de los grandes intereses de la clonación *molecular* (recombinación de ADN) como en el caso de la insulina que se usa hoy corrientemente para el tratamiento de la diabetes y se produce a partir de bacterias (*Scherichia coli*).

En la clonación *celular* las copias se obtienen por medio del cultivo en el laboratorio de células somáticas (del cuerpo) copia cuya composición genética es idéntica a la de la célula originaria. Tanto de la clonación molecular como de la celular no resultaría la formación de un embrión humano pues este procede de células germinales, óvulos o espermatozoides.

Desde hace poco más de 20 años se comenzó a desarrollar una forma más sofisticada de clonación de animales por medio del trasplante nuclear. Las células somáticas contienen un núcleo con dos series de genes (diploides) una materna y otra paterna. Las células germinales contienen solo los genes paternos o maternos (haploide). El interés por las investigaciones en la clonación y en especial por la transferencia del núcleo en células de animales se debe a su aporte a la investigación en biotecnología, en medicina y en ciencias básicas. Así se generan animales genéticamente idénticos con fines de investigación, selección de estirpes de animales, cría transgénica seleccionada y aumento del conocimiento de los procesos celulares.

### **Clonación reproductiva y clonación terapéutica**

En la primera su busca producir individuos genéticamente idénticos, por trasferencia nuclear de células somáticas de un adulto o de un menor o por división artificial del embrión.

---

<sup>3</sup> Wilmut I. Schnieke, A. E. McWhir, J. Kind A.J. Campbell KHS Vástagos Viables de Células fetales y adultas de mamíferos, en: *Clones y Clones. Hechos y fantasías sobre la clonación Humana*. Nussbaum M. Y Sustein C. R. (eds) Cátedra, 2000, Madrid. Pág.31.

La clonación con fines **terapéuticos** no tiene por objeto la reimplantación uterina del clon, sino para utilizarlo experimentalmente con fines terapéuticos a largo plazo o para usarlo en el cultivo de tejidos con el fin de lograr transplantes en medicina<sup>4</sup>.

### Aplicaciones de la clonación

Antes de enumerar algunas de las aplicaciones de la clonación, unas palabras sobre la biotecnología: se la puede entender como el uso y la manipulación de organismos vivos o de sustancias obtenidas de estos y que tiene por objeto obtener productos útiles para el ser humano. A través de la actividad científica que ha acompañado a la humanidad en la evolución de su historia la ciencia es la principal herramienta para analizar y comprender el mundo que nos rodea.

Las aplicaciones científicas o tecnológicas han realizado un cambio evidente. A pesar de esto, la biotecnología produce recelos en sectores amplios de la sociedad. Las técnicas para la modificación de los organismos es lo que caracteriza la biotecnología moderna y no la utilización de varios organismos. A nivel molecular todo lo vivo funciona básicamente de idéntica forma, pues todos los seres vivos del planeta comparten los mismos tipos de moléculas de tal suerte que los seres humanos estamos hermanados en grados diferentes con los demás vivientes, constituyéndonos en parte de la trama de la vida y de la naturaleza y no estamos aparte de ella. En el nivel molecular de la vida es donde opera la biotecnología, pues allí es donde desaparecen las barreras entre las especies.

En un aspecto mucho más amplio podemos decir que con la introducción de una tecnología y una ciencia depuradas se abarcan actualmente los ordenadores y muchos otros elementos que exigen decisiones en los niveles más altos del estado e inversiones empresariales a gran escala que permiten la

---

<sup>4</sup> Tardu M. "Le droit face au clonage", en: *Le Clonage*. Coordonné par A. McLaren. Editions du Conseil de l'Europe, 2002, Paris.

comercialización de los productos resultantes por empresas particulares con afán de rendimiento económico, comercializando la biología celular y aumentando los temores acerca de la biotecnología<sup>5</sup>.

La clonación se ha aplicado a la cría de ganado seleccionado lográndose la perpetuación y multiplicación de la excelencia, siendo así la clonación una fijación de los resultados evolutivos y convirtiéndose en parte del proceso evolutivo. En la clonación de seres humanos se busca replicar individuos destacados por su genialidad o por su belleza, o para mejorar la especie, o lograr una vida más agradable, la eliminación de riesgos genéticos de enfermedades hereditarias, proporcionar un hijo a un matrimonio estéril o reponer uno que haya muerto por ejemplo en un accidente.

La producción de células u órganos para trasplante evitando el rechazo inmunológico y supliendo la necesidad actual dada la escasez de donantes. Obtener hijos en parejas homosexuales. Crear ejércitos (lo que requería miles de mujeres y muchas décadas para lograrlos). Escogencia sexual del futuro hijo: el sexo del clon es el mismo que el de la persona de la que procede el núcleo celular implantado.

En cuanto a la clonación animal por transferencia nuclear se busca obtener información que sería útil en biotecnología, medicina e investigación biológica básica. Se propone con ello generar grupos de animales genéticamente idénticos con fines de investigación, propagar estirpes convenientes de animales, mejorar la generación y eficacia de animales de cría transgénicos, producir alteraciones genéticas seleccionadas en animales domésticos.

### **Clonación a partir de células embrionarias (Células madre, Stem Cells)**

La clonación de mamíferos es una técnica relativamente nueva y la manera de investigarlo la mas sujeta a controversias en los últimos cinco años. Una

---

<sup>5</sup> Cardwell, D. *Historia de la Tecnología*. Alianza Universidad 2001, Madrid.

segunda anotación es que los humanos somos mamíferos y como tales estamos comprometidos en este proceso.

Uno de los métodos de clonación para producir animales idénticos es la de dividir el embrión físicamente en dos o más partes el racimo de células resultantes de un óvulo fecundado antes de su implantación en el útero. Experimentalmente se viene realizando en animales de cría. En la especie humana ocurre en forma espontánea dando como resultado el desarrollo de gemelos monozióticos (univitelinos o verdaderos gemelos). Este fenómeno se puede producir no solamente antes sino también durante la implantación, hasta llegar al estado de línea primitiva, primer signo de desarrollo fetal. Raramente hay mas de dos líneas primitivas y son las que producen nacimientos múltiples. La aparición de la línea primitiva marca el comienzo del desarrollo del individuo, que literalmente uno no puede dividir. En los humanos se produce aproximadamente dos semanas después de la fecundación.

La clonación por *transferencia nuclear* no se produce nunca espontáneamente. En el laboratorio se toma un óvulo no fecundado el cual contiene un solo grupo de cromosomas que se completarán con otro aportado por el espermatozoide en la fecundación. Pues bien, el núcleo no fecundado del óvulo se retira y se reemplaza por un núcleo que contiene un paquete completo de cromosomas. Se estimula luego por diferentes técnicas este óvulo reconstruido y comienza a desarrollarse el embrión. El resultado obtenido es mejor cuando el núcleo transferido se toma de un embrión en estado precoz de desarrollo, pues los genes tienen en este momento poca oportunidad de escoger y se parte prácticamente de cero puesto que una vez que las células se especialicen para formar los diferentes tejidos del cuerpo, el problema se vuelve más complejo.

La clonación por transferencia de núcleos de células somáticas, o células del cuerpo, sólo resulta en un porcentaje ínfimo de animales viables. Así por ejemplo Dolly el primer mamífero clonado por transferencia de un núcleo adulto, necesitó 277 óvulos con transferencia nuclear. Pero a pesar de la alta tasa de fracasos, se abren inmensas perspectivas de aplicaciones en animales de cría, en particular, de la manipulación genética.

Por clonación verdadera se entiende la transferencia del núcleo obtenido de una célula diploide somática diferenciada (de nacidos, o de embriones o de fetos) a (1) un óvulo previamente denucleado, (2) a un ovocito al que se le extrae el pronúcleo o (3) a un cigoto privado de cromosomas<sup>6</sup>.

M. Palacios sostiene que la célula creada por la transferencia del núcleo no es un cigoto y le da el nombre de *nuclóvulo*. Este, al ser estimulado puede dividirse por mitosis y dar lugar a dos células o blastómeros y continua dividiéndose para formar la *mórula* y hacia el quinto día el *blastocisto*. Tanto el cigoto como el nuclóvulo pueden desarrollarse como preembriones.

Es diferente el estatuto biológico del nuclóvulo y el del cigoto. El primero es producto de la transferencia del núcleo de una célula somática diferenciada, por tanto no es un cigoto. El cigoto es el resultado de la fertilización de un óvulo por un espermatozoide y su estatuto biológico es diferente. No tienen igual constitución biológica. La clonación por transferencia nuclear no se produce jamás espontáneamente en los mamíferos<sup>7</sup>.

*Las células troncales* (indiferenciadas o células madre (Stem Cells) se caracterizan estas células embrionarias por ser indiferenciadas, intemporales, pues tienen capacidad de dividirse y reproducirse indefinidamente y ser pluripotentes; orientadas en el laboratorio pueden producir todo tipo de líneas celulares o tejidos corporales sin que se modifique su material, por tanto, importantes para trasplantes en el tratamiento de ciertas enfermedades.

Esta capacidad de las células madre es para generar toda la variedad de células o tejidos pero no para dar lugar a un individuo, lo que sí sucede con las células totipotenciales de los blástómeros. De otra parte las células madre de los tejidos adultos son múltipotentés; pueden dar lugar a algunas células o tejidos, pero no a todos.

---

<sup>6</sup> Palacios, M. "La Clonación: Consideraciones Bioéticas" en: *Ética y Clonación. Realidades y Exageraciones*. Fundación Valenciana de Estudios Avanzados. 2002, Valencia. Pág.77 y 78.

<sup>7</sup> *Op cit.*

## Argumentos en contra y a favor de la clonación humana

Las consideraciones u observaciones acerca de las manipulaciones metódicas de la sustancia humana hereditaria se relacionan con la *eugenesia negativa o preventiva* para evitar la transmisión de genes patógenos o nocivos, por medio del control del apareamiento de los portadores. *También la selección prenatal*, excluyendo el embrión dañado. La *eugenesia positiva* con el fin de mejorar la especie por medio de la selección genética humana planificada.

En contra de la clonación humana se argumenta el que se afecta la *dignidad humana*, apelando a Kant para quien los seres humanos son fines y no solamente medios, y que con la clonación se pierde la identidad del individuo o del clon, se niega que el clon sea una persona y es objeto de instrumentalización, y se niega la autonomía o libertad del clon<sup>8</sup>.

Se ha enfatizado cada vez más a medida que se obtienen más conocimientos que la identidad biológica de los clones no es absoluta debido a diferencias ligadas al ADN mitocondrial, y las interacciones entre genes y entre estos y el medio ambiente. De otra parte, la identidad de una persona, además de biológica, es psicológica, social y cultural. Tampoco se afectaría la diversidad con empobrecimiento genético si la clonación es limitada como ya se ha visto con la selección de los animales de cría en que siempre se conserva en reserva la diversidad genética; por el contrario, se enriquecería la biodiversidad y la diversidad social. La aceptación social de los pocos bebés clonados se percibiría como socialmente sucede hoy con los bebés probeta o de reproducción asistida. (FIV).

La negación de la autonomía de la persona va estrechamente ligada a la idea de instrumentalización o negación de la identidad personal. Sin embargo, la instrumentalización es común en la reproducción natural (sexual) pues los

---

<sup>8</sup> Hottois G. ¿Is Cloning the absolute evil? *Human Reproduction Update*, 1998, Vol 4 No.6 pág.787-790.

padres imponen a sus hijos demandas, conscientes o no, que los instrumentalizan de diversas maneras. En las relaciones humanas así sea en el amor o la amistad se da la instrumentalización y es lo que Kant quiere decir al recomendar la obligación moral de que en el relacionarnos debemos tratar a los demás como fines y no solamente como medios.

Se alega también en contra de la clonación que daría como resultado un **determinismo genético**. Es errónea la creencia de que los genes de una persona tienen una relación simple con los rasgos físicos y psicológicos que ya hemos mencionado en el individuo. Este es el resultado, no sólo del papel esencial que desempeñan los genes en la formación de las características físicas y de conducta, sino además, de una compleja interacción entre sus genes y el entorno en que se desarrolla, comenzando desde el momento de la fertilización y que perdura a lo largo de toda la vida. “Como seres biológicos y sociales somos hijos de nuestro entorno biológico, físico, social, político, histórico y psicológico. En otras palabras nunca habrá otro “uno mismo”<sup>9</sup>.

También es sofisma pensar que el clon estaría predeterminado y predecible porque el modelo del que procede sería conocible. No está claro el porqué la clonación repetiría los errores o aciertos de su padre o de su madre. En las familias, en la educación, en la actuación que hacen los padres las condiciones de algunos niños son deformadas, con consecuencias como la indoctrinación ideológica, religiosa, psicológica, que disminuyen o suprimen la autonomía de la persona en forma mucho más extendida de lo que lo haría la reproducción por clon<sup>10</sup>.

---

<sup>9</sup> National Bioethics Advisory Commission Ciencia y Aplicación de la Clonación. En: *Clones y Clones. Hechos y fantasías sobre la clonación Humana* Nussbaum M.C., Sunstein, CR (eds) Cátedra, 2000, Madrid pág.47-48.

<sup>10</sup> Capra, F. *The Hidden Connections. A Science for Sustainable Living*. Harper Collins 2002, London “since the general public is unaware of the basic fallacy of the doctrine that genes make identical people. In other words, most people confuse the genetic state of an organism with the totality of the biological, psychological and cultural characteristics of a human being” pág.158.

George Johnson<sup>11</sup> sostiene que hay una parte de la vida que la biotecnología no tocaría nunca: *clonar un cerebro*. Un órgano de un gemelo idéntico puede ser probablemente transplantado al otro debido a mínimas diferencias. Pero con el cerebro las diferencias son profundas. El tejido cerebral se forma de manera diferente a los demás tejidos en que se repite el mismo tipo de célula una y otra vez para formar hueso, piel, músculos. En el cerebro las células tienen una precisa disposición, y la neurona se conecta con otra, ligándose así a través de las uniones llamadas sinapsis, “formando las volutas del sistema de circuitos cuyas vueltas y giros hacen que seamos quienes somos”. Cada uno de nosotros tenemos en nuestro cerebro una complejidad tal que va más allá de la duplicación, y hasta en los gemelos idénticos la maraña neuronal es distinta. Desde el comienzo lo que está en el cerebro es diferente de lo que está en los genes y conforme madura el cerebro se ensancha el abismo.

La idea de que la *Libertad humana* depende directamente o se deriva de la impredecibilidad o de lo impredecible, de las abiertas y desconocidas oportunidades de combinaciones genéticas y mutaciones en cada individuo, es otro argumento sofisticado usual en la literatura bioética y hasta se habla de la ignorancia como un derecho subjetivo<sup>12</sup> que el clon perdería al saber demasiado de sí mismo y que otros tienen como postulado la escogencia deliberada después de la información, la reflexión y el debate y no está sujeto a un caótico determinismo genético e impredecibles oportunidades en la naturaleza. La libertad humana está ligada al ser humano en tanto ser de razón y de voluntad que le permiten tomar decisiones éticas.

Para Hottois,<sup>13</sup> el deseo de una absoluta prohibición de la clonación de seres humanos se basa en una parcial o incorrecta presentación de los hechos,

---

<sup>11</sup> Johnson G. “La Búsqueda del Alma”. En *Clones y Clones. Hechos y Fantasías sobre la clonación humana*. Nussbaum M.C. Sunstein C.R. (eds) Cátedra, 2000, Madrid. pág. 73 “Hay una parte de la vida que la biotecnología no tocará nunca. Mientras que es posible clonar un cuerpo, es imposible clonar un cerebro”.

<sup>12</sup> Jonas, H. *Técnica, Medicina y Ética*. Paidós, 1997, Barcelona.

<sup>13</sup> Hottois, G. 1998.

en el rechazo a la distinción entre casos, contextos, circunstancias, motivaciones y con argumentos sofisticados. El deseo de una absoluta interdicción a menudo expresa un profundo sentimiento de angustia generada por la abismal experiencia de la libertad humana en sí misma.

Se argumenta en contra de la clonación que es *antinatural*. Pero la creatividad humana y la búsqueda de conocimiento son naturales en el viviente humano. Esto le ha permitido participar en el proceso evolutivo de diferentes maneras, por medio de la ciencia, como el ayudar a individuos que no podrían reproducirse de otra manera que la fecundación in vitro. Somos seres inseparablemente bioculturales y la fecundación in vitro es antinatural como lo es escribir y leer libros, volar en los aviones y desplazarnos más deprisa de como podemos correr, o llevar ropas, pues la desnudez es natural, pero podría escandalizar más a quienes creen que la clonación es antinatural.

*La mitología* se muestra firmemente en contra de la clonación, incluso en algunas culturas premodernas los gemelos deberían matarse uno, o los dos, como es el caso de las wvas entre nosotros. Se relaciona esto con los mitos creacionales del mundo, con frecuencia negativas. Los mitos se resisten a la idea de dos cuerpos idénticos pues esto choca con la idea de persona.

La reacción contra la clonación de seres humanos fue de inmediata y firme condena, incluyendo al Dr. Wilmut. El derecho a reproducirse, a la libertad reproductiva o procreativa, estaría a favor de la reproducción por clonación<sup>14</sup> También estaría aquí incluida la libertad de no reproducirse solamente por medio de la anticoncepción o el aborto. El derecho reproductivo por medio de la clonación humana es un derecho negativo, que concede utilizar las tecnologías de reproducción asistida sin interferencia estatal o de otros.

---

<sup>14</sup> Brock D. W. "La Clonación de seres humanos: una valoración de los pros y los contras éticos". En: *Clones y Clones*. Nussbaum M.C., Sunstein C. R. (eds), Cátedra, 2000. Madrid.

Como argumentos morales en contra de la clonación se han señalado, además, que violan importantes derechos morales. Se violarían derechos humanos como el de tener una identidad única y el derecho a la ignorancia sobre el futuro propio o a un futuro abierto. En el caso de los gemelos idénticos se demuestra que no existe tal derecho pues no se les han violado derechos morales o humanos y el compartir un genoma idéntico no impide a los gemelos desarrollar sus propias identidades distintas y únicas. La idea de unicidad o de la identidad única de cada persona es anterior al desarrollo de la genética moderna.

### **Daños individuales o sociales que causaría la clonación**

La clonación humana produciría angustia y daño psicológico al gemelo posterior, lo cual sería una suficiente razón para evitar la práctica. Pero estas cargas psicológicas, no son tan malas como para que la vida del gemelo no valga la pena de ser vivida.

Los riesgos que supone la clonación humana para algunos son inaceptables. Pero estos riesgos se relacionan con lograr la implantación, el crecimiento y desarrollo correctos, lo cual supone la muerte o la destrucción del embrión del clon antes de que se le considere como una persona con protección moral o legal de su vida.

La idea de que la clonación humana reduciría el valor de los individuos y el respeto por la vida misma se basa en el error de creer que una persona así creada es de menos valor y respeto que una creada por reproducción sexual y que la identidad de una persona está determinada únicamente por sus genes.

Una discusión evidente es acerca de los intereses comerciales con fines financieros y tanto los defensores como los opositores de la clonación humana están de acuerdo en que no se debe de la posibilidad de comprar y vender embriones clonados. Esta mercantilización sería la cosificación de la vida humana.

Existe el temor, además, de que la clonación de seres humanos podría ser utilizada por gobiernos o grupos con fines inmorales o explotadores como una nueva forma de esclavitud.

En la *perspectiva religiosa*, no hay una opinión única sobre la clonación que vaya más allá de la que existe sobre la mayoría de las cuestiones morales acerca de la biomedicina<sup>15</sup>.

La advertencia de no hacer de Dios, que aparece siempre que se da un nuevo y poderoso avance científico se invoca casi siempre como señal de alto para esa investigación, basados en las diferencias entre Dios y los hombres y especialmente el que estos no deben sondear los secretos o misterios fundamentales de la vida que pertenecen a Dios. Para algunos esta advertencia es demasiado indiscriminada para proporcionar una guía ética. Somos responsables de utilizar nuestra creatividad y libertad (rasgos de la imagen de Dios) para forjar un destino más acorde con la dignidad humana<sup>16</sup>.

Se rechaza la clonación también por considerarla diferente tecnológicamente a la reproducción asistida; o crear hijos desde el punto de vista más de los derechos personales y la autonomía individual que desde el punto de vista de las relaciones y responsabilidades familiares.

## **Aspectos Legales**

La declaración de la UNESCO de 1997 sobre el Genoma Humano y los Derechos Humanos prohíbe la clonación con fines reproductivos. En diferentes

---

<sup>15</sup> Como lo señala M Casado (acta Bioética No-2, 2002, OPS, pág188) "pueden coexistir visiones (morales) diversas? La discusión entre las posiciones universalistas y las que hacen hincapié en la diversidad y el pluralismo es sobradamente conocida y de la más plena actualidad. En mi opinión, el principal problema estriba en que la ética y el discurso moral, civil o laico, no tienen aún construidas respuestas a los problemas de la Bioética mientras que, por el contrario, la teología sí tiene respuestas dogmáticas que cuentan con el aval de siglos de utilización sin fisuras".

<sup>16</sup> Verhey, A. "Playing God and invoking a perspective". *J. Med and Phylosophy*, 20.1995. pág.347-363.

países las leyes la prohíben. Sin embargo se acepta que la investigación debe seguir pues es un derecho fundamental que comprende la producción y creación científica.

La convención del Consejo de Europa<sup>17</sup> (Asturias) artículo 18 expresa concretamente que “Se prohíbe crear embriones humanos sólo para investigar sobre ellos” En el artículo 1 dice que “cuando la ley nacional admitiera la investigación sobre embriones in vitro deberá asegurar la protección adecuada del embrión”; pero no debe entenderse ahora como prohibido en su Informe Explicativo, que “teniendo en cuenta los avances científicos en el campo de la clonación de mamíferos, en particular a través de la división embrionaria y la transferencia nuclear que se considera en todo el mundo como una técnica biomédica valiosa sobre la que hay diferentes puntos de vista”.

El Parlamento Europeo en su directiva 44/98 en su artículo 6.2c, considera “no patentables las utilizaciones de embriones humanos con fines industriales o comerciales por ser contrarios al orden público y a la moralidad”. En Agosto de 2000 el gobierno británico informa que autorizará la clonación de embriones humanos con fines de investigación terapéutica, dados los grandes beneficios que aportarán tales técnicas y a pesar de las posibles reservas éticas.

El comité ético sobre biotecnología de la Unión Europea en agosto de 2000 informa que el derecho comunitario no prohíbe la clonación terapéutica.

---

<sup>17</sup>

De acuerdo con el decreto del Consejo de Europa sobre Clonación humana, “la instrumentalización de seres humanos a través de una creación deliberada de seres humanos genéticamente idénticos es contrario a la dignidad humana y así constituye un mal uso de la medicina y la biología”... “Es la existencia del libre albedrío lo que lleva a la bien conocida conclusión de Kant de que los seres humanos deben ser siempre tratados como fines y no solo como medios” “Mientras que muchos señalan la razón humana y la capacidad moral como las más importantes y únicas características humanas que dan a nuestra especie dignidad, yo diría que la total gama emocional humana es tan importante, si no mas que las anteriores”. “El status mayor sobre las otras criaturas que tienen la dignidad humana se relaciona con el hecho de que somos totalidades complejas más que la suma de simples partes”.

En los Estados Unidos el gobierno comunica el 24 de agosto de 2000 que autoriza la utilización de embriones desechados de la Fecundación In vitro (FIV) para clonación terapéutica pero sólo por las empresas privadas. Las instituciones públicas podrán adquirir las células madre que esas empresas obtengan.

En Diciembre de 2000 La Cámara inglesa aprobó la ley sobre creación de embriones por clonación para la obtención de células troncales con fines de investigación y terapéuticas, para transplante de tejidos sin rechazo. Es el primer país que la legaliza, pero prohíbe la clonación reproductiva.

En Julio de 2001, el Congreso de los Estados Unidos, con el aval del Presidente Bush, prohíbe la clonación con fines no reproductivos y la clonación reproductiva, pero no está prohibido utilizar células madre de embriones procedentes de la FIV. En septiembre 11 de 2001 la Academia Nacional de Ciencias de EEUU manifiesta su apoyo a la investigación con células madre embrionarias, con intenciones de aplicaciones médicas.

La National Bioethics Advisory Commission<sup>18</sup> que ofrece recomendaciones sobre temas de investigación humana, examinó también las largas tradiciones religiosas que a menudo influyen y guían las reacciones de los ciudadanos acerca de las nuevas tecnologías. Las posturas religiosas sobre la clonación humana son pluralistas en sus premisas, modos de argumentación y conclusiones. Sin embargo, hay temas fundamentales comunes acerca del dominio responsable del hombre sobre la naturaleza, la dignidad humana y el destino humanos, la procreación y la vida familiar en las posturas judía, católica, protestante e islámica.

---

<sup>18</sup> La National Bioethics Advisory Commission (NBAC) fue creada por orden ejecutiva del presidente Clinton en octubre de 1996 para ofrecer recomendaciones al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, así como a cualquiera agencias del gobierno relacionados con la investigación de la biología y la conducta humanas, sobre el tratamiento ético de las teorías de investigación humana. Se encargó también a la NBAC la consideración de las cuestiones que suscitaba la investigación genética humana y cualquiera otras importantes cuestiones bioéticas que identificaron sus miembros, el Congreso o el público.

En la actualidad se considera la clonación para crear un niño como un experimento prematuro, expuesto a riesgos inaceptables; y la Comisión recomendó una moratoria para la utilización de la transferencia nuclear de célula somática para crear un niño pues la considera inmoral en este momento. La información científica actual sobre esta biotecnología no es segura para su utilización en humanos y es razón suficiente para actuar con precaución<sup>19</sup>.

Recomienda también la NBAC la promulgación de una ley para prohibir a cualquiera intentar por medio clónico o de investigación crear un niño mediante la transferencia nuclear de célula somática. La regulación o acción legislativa debe ser cuidadosamente redactada para no interferir con otras importantes áreas de la investigación científica.

El miedo o las creencias, si son expresiones de un temor irracional o de una ideología no pueden limitar el ejercicio de la libertad de producción y recreación científica<sup>20</sup> conforme a la legislación vigente se castiga la creación de seres humanos idénticos, creación de vida humana, pero no se exige que alcance la calidad jurídica de persona. El ordenamiento jurídico no tiene porqué protegerse indiscriminadamente de los avances científicos como del “patrimonio genético humano” sin precisar en qué casos y en que circunstancias.

Los conceptos éticos invocados para apoyar leyes prohibitivas globales de la clonación humana reproductiva se relacionan con diferentes apreciaciones y debates sobre el tema. El cumplimiento de la prohibición de la cámara de los

---

<sup>19</sup> Se han descrito gran cantidad de anomalías tanto en el desarrollo embrionario como durante la gestación e incluso en los animales clónicos, como disminución de las tasas de implantación embrionarias, altas tasas de abortos, anomalías, falta de vigor postnatal, aumento de infecciones bacterianas y envejecimiento prematuro. La clonación reproductiva humana por trasplante nuclear es rechazada por la comunidad médica y científica internacional por los problemas éticos inherentes, los problemas técnicos e incertidumbre y la carencia de indicaciones médicas concretas. Vallés C. S. Escribá M. J. Pellicer A. La clonación Reproductiva, en: *Ética y Clonación. Realidades y Exageraciones*, Valencia 2002, pág. 42.

<sup>20</sup> Peris J.M. “Exageraciones Jurídico—Penales en Torno a la fecundación no reproductiva y a la denominada clonación Terapéutica” En: *Ética y Clonación. Realidades y Exageraciones*, Fundación Valenciana de Estudios Avanzados, 2002, Valencia.

EEUU de 2001, la ejerce la *Food and Drug Administration* (FDA) invocando el acta de salud pública (*Public Health Service Act*) que le da competencia de reglamentar todo producto biológico, sin juzgarlos a la luz de la ética. Las discusiones que seguirán se relacionan con la actitud que pueda asumir la Corte Suprema de EEUU con respecto a las leyes prohibitorias tanto federales como de los estados. Los eticistas y juristas norteamericanos opuestos a la interdicción radical de la clonación señalan la larga tradición liberal de la Corte en cuanto al modo de procreación. La libertad de procrear ha sido considerada como un derecho fundamental, especialmente con relación a la enmienda catorce<sup>21</sup>.

El argumento más radical que suscita las controversias más agudas es el relacionado con el derecho a la vida del embrión. Necesariamente esto conduce al debate sobre el aborto. Los opositores a las leyes prohibitorias, anticlonación, al parecer los mismos que son partidarios de la libre escogencia (*pro—choice*) en el debate sobre el aborto, niegan toda característica de vida humana o de personalidad humana al embrión. Al menos la niegan en lo que concierne al agregado de células indiferenciadas de los primeros días después de la concepción, en el momento mismo de la intervención con fines de clonación terapéutica.

Un argumento relacionado con el anterior pero diferente consiste en decir que el embrión debe ser protegido en razón del potencial de vida humana de que es portador<sup>22</sup>. El respeto a la dignidad humana es el principio más invoca-

---

<sup>21</sup> Tarden, M. "Le droit face au clonage". En *Le Clonage* Coordinné par A. McLaren. Editions du conseil de l'Europe, 2002, París, pág.155.

<sup>22</sup> En el caso de la clonación terapéutica no se ve argumento decisivo para oponerse a ella. Pero deben existir restricciones y controles. Según Lain Entralgo, el cigoto humano no es un hombre ni siquiera en potencia, puesto que en las primerísimas etapas no está establecida la especificidad del germen; en condiciones artificiales distintas a las que presiden su desarrollo normal, puede llegar a ser algo distinto de lo que específicamente eran sus progenitores. Más adelante agrega: "Acaso se diga que el cigoto es un hombre en potencia, mas tampoco esto parece cierto. El cigoto puede ser hombre, sí, pero sólo si se desarrolla en condiciones "naturales" o "normales". Lo más que legítimamente puede decirse es que el cigoto de la especie humana es un hombre en potencia condicionada". Así que "aristotélicamente o escolásticamente al decir que el desarrollo del cigoto humano conduce necesariamente a la formación de un hombre, habrá que añadir que tal necesidad no es absoluta sino condicionada".

do en las leyes restrictivas y el temor a la instrumentalización de las personas; a que la clonación puede desviarse hacia una forma nueva de esclavitud, o sirva para constituir un reservorio de órganos para trasplante, y que todo avance en biología celular tiene el peligro del abuso. La integridad de la persona también se ha invocado en las leyes prohibitorias. Los riesgos graves atinentes a la salud y el desarrollo defectuoso del clon se señalan también en los debates legislativos y en los congresos científicos.

A veces las legislaciones prohibitorias la hacen general sin distinción incluso sobre la clonación terapéutica alegando el derecho a la vida del embrión, o el gran riesgo de pasar de la clonación terapéutica a la reproductiva pues se trata del mismo proceso biológico hasta un cierto estado.

En Inglaterra, la clonación reproductiva esta prohibida por la ley de 2001 sobre clonación reproductiva humana, que sanciona la implantación en una mujer de un embrión humano creado de manera diferente a la fecundación. En lo relacionado con la clonación terapéutica, se la permite pero debe obtenerse el permiso previo de toda investigación, de la autoridad de fertilización y embriología (Human Fertilisation and Embryology Authority) En el caso de la clonación terapéutica se invoca la prioridad del derecho de la persona sobre los derechos a la vida y la dignidad del embrión.

El Protocolo del Consejo de Europa, (Convención) para la protección de los derechos del hombre y de la dignidad del ser humano respecto a las aplicaciones de la biología y de la medicina entró en vigor en marzo de 2001. Prohíbe toda intervención que tenga por objeto crear un ser humano genéticamente idéntico a otro ser humano vivo o muerto<sup>23</sup>.

---

Una vez separado el paso de la implantación del blastómero en la mucosa uterina e iniciada la hominización, aunque no sea "hombre en acto" sí es hombre en potencia porque su ulterior desarrollo se ve sometido a este dilema: llegar a ser un hombre en acto o sucumbir".

<sup>23</sup> En la actualidad la aplicación en humanos de la clonación reproductiva por trasplante nuclear es rechazada de forma unánime por la comunidad médica y científica internacional debido fundamentalmente a tres razones: problemas éticos inherentes, los problemas técnicos e incertidumbres de este método y la ausencia de indicaciones médicas concretas que justifiquen su aplicación.

En cuanto a la clonación de animales, las consideraciones éticas son las mismas que siguen la investigación y experimentación en animales. La experiencia aquí ha demostrado una alta morbilidad y una mortalidad en el curso de la gestación y el nacimiento, y numerosas anomalías aparecen posteriormente en los animales clonados, totalmente inaceptables en el caso de seres humanos. Por esto sería irresponsable y hasta criminal la clonación de bebés, de lo cual están de acuerdo todos los países del mundo.

**Conclusión:**

La prudencia nos aconseja, apelando al principio de precaución, el establecer un período de moratoria y buscar en forma activa el estudio y la reflexión, agrupando a los científicos, médicos, juristas, eticistas y legisladores con miras de comprender la clonación en todas sus dimensiones y formular un plan de acción.

## BIBLIOGRAFÍA

- ❑ Albert A., *Vers une interdiction mondiale du clonage des êtres humains?* Editions du conseil de l'Europe, coordiné par A. McLaren, 2002, París.
- ❑ Aznar J., "Alternativas a la Utilización de Células Madre Embrionarias con Vista a la Medicina Regenerativa y Reproductiva". En: *Ética y Clonación, Realidades y Exageraciones*, 2002. Valencia.
- ❑ Ballesteros J., Clonación. "El Punto de Vista de la Bioética" En: *Ética y Clonación. Realidades y Exageraciones*, 2002, Valencia.
- ❑ Bergel S.D., La impronta de las investigaciones del Genoma Humano sobre el Derecho. Bioética y Derecho (S.D. Bergel, N.Minyersky coord.) Ruvinzal—Culzoni Edt, 2003, Buenos Aires.

- ❑ Brock D.W. “Ética y Religión. La Clonación de seres humanos: una valoración de los pros y los contras éticos”. En: *Clones y Clones*, Cátedra 2000, Madrid.
- ❑ Campbell KHS. *Dolly, la brebis clonée*. Editions du conseil de l’Europe, coordonné Par Ann McLaren, 2002, París.
- ❑ Capra, F., *The Hidden Connections. A Science for Sustainable Living*. Harper Collins 2002, London.
- ❑ Cardwell, D., *Historia de la Tecnología*, Alianza Universidad, 2001, Madrid.
- ❑ Casado, M., ¿Por qué Bioética y Derecho? *Acta Bioética*, 2002, OPS/OMS, Santiago.
- ❑ Casado M. Egozcué J. (coords) Documento sobre Células madre embrionarias. Observatorio de Bioética y Derecho, 2001, Barcelona
- ❑ Casado M. Egozcué J. (coords) Documento sobre investigación con embriones. Observatorio de Bioética y Derecho, 2002, Barcelona.
- ❑ Dausset J., “Clonage? Faits Et Exagerations” en: *Ética y Clonación. Realidades y Exageraciones*, Fundación Valenciana de Estudios Avanzados 2002, Valencia.
- ❑ Dawkins, R. “¿Qué es lo que está mal en la clonación?” En: *Clones y Clones*, Cátedra 2000, Madrid.
- ❑ De Rosnay J. *El Hombre Simbiótico*. Cátedra 1995, Madrid.
- ❑ Doniger W. “El Sexo y el Clon Mitológico” En: *Clones y Clones*, Cátedra, 2000, Madrid.

- ❑ Dooley M., ¿Tiene Derechos el Embrión /Feto? Bioética 2000, Nobel, SIBI, Oviedo.
- ❑ Dworkin A., “Sasha”. En: *Clones y Clones*, Cátedra 2000, Madrid.
- ❑ Egozcue J., Casacuberta J. Melé, E. Romeo Casabona C., *Percepción Social de la Biotecnología*. Fundación Víctor Grifols i Lucas, Barcelona.
- ❑ Ethics Committee Report. Human Somatic cell nuclear transfer (clonning) *Fertility and sterility* vol. 74, No. 5, Nov, 2000.
- ❑ Exkridge W.N. Stein, E. “Clones Queer”, En: *Clones y Clones*, Cátedra, 2000, Madrid.
- ❑ Figueroa Y. G., “El comienzo de la vida humana: el Embrión como Persona y como Sujeto de Derechos”, en: *Bioética y Derecho* (S. Bergel y N. Minyersky coordinadores) Rubinzal-Culzoni, Ed. 2003 Buenos Aires.
- ❑ Fukuyama F., *Our posthuman Future. Consequences of the Biotechnology Revolution*. Profile Books, 2002, London. Pág. 148 y ss.
- ❑ Gafo J., “La Sorpresa Científica de la Clonación”, en Bios y Ethos No.4, *Problemas de Etica Aplicada*, 2ª Edición Universidad el Bosque 2001, Bogotá.
- ❑ Garrido, M. Prólogo de Hechos y Fantasías sobre la Clonación Humana. Nussbaum, M, Sunstein (eds) *Clones y Clones*, Cátedra, 2002, Madrid.
- ❑ Gould J., S. “La moda de Dolly y la pasión de Luis”, En: *Clones y Clones*, Cátedra, 2000 Madrid.
- ❑ Grace, E., *La Biotecnología al Desnudo*. Promesas y realidades. Anagrama, 1999, Barcelona.

- ❑ Hooft P.F. “Manipulación Genética y Clonación perspectivas Bioética y Filosóficas”. *Cuadernos Programa Regional de Bioética*, OPS, 1998, Santiago.
- ❑ Hottois, G. Is cloning the absolute evil? *Humman Reproduction Update*, 1998, vol. 4 No.6, pp 787-790.
- ❑ Hottois, G. *Essais de Philosophie, Bioéthique et Biopolitique* Vrin, 1999, Paris.
- ❑ Hottois G., *Technoscience et Sagesse*, Edition pleins Feux, 2000, Nantes.
- ❑ Johnson G., “La Búsqueda del Alma”. En: *Clones y Clones*, Cátedra, 2000, Madrid.
- ❑ Jonas H., *Técnica, Medicina y ética*, Paidós 1997, Barcelona.
- ❑ Lain E. P. *El Cuerpo Humano. Teoría Actual*. Espasa Calpe, 1989, Madrid p.298-299
- ❑ Martínez—Serrano A., “Células Troncales de origen humano: Investigación Básica, Aplicada y Perspectivas Terapéuticas para el tratamiento de la enfermedad de Parkinson”, en: *Ética y Clonación: Realidades y Exageraciones*, 2002, Valencia
- ❑ Matesanz R., “Ética y Clonación: Realidades y Exageraciones”, En: *Ética y Clonación*, Fundación Valenciana de Estudios Avanzados, 2002, Valencia
- ❑ National Bioethics Advisory Commission. “Perspectivas religiosas”, En: *Clones y Clones*, cátedra 2000, Madrid.
- ❑ Oppenheimer W. “Bebé de diseño para curar al hermano”. *El País* 2 octubre 01.

- ❑ Palacios, M. “La clonación: Consideraciones Bioéticas”. En: *Ética y Clonación. Realidades y Exageraciones*, 2002, Valencia.
- ❑ Peris Riera J.M. “Exageraciones Jurídico—Penales en Torno a la Fecundación no Reproductiva y a la denominada Clonación Terapéutica”. En: *Ética y Clonación. Realidades y Exageraciones*, 2002, Valencia.
- ❑ Rivera L. E., “Los desafíos éticos de la Medicina”, En: *Diálogo Político-Bioética y Biotecnología*. Konrad Adenauer stiftung, No. 1, Marzo 2003, Buenos Aires.
- ❑ Schüklenk, U. Ashcroft R., La Ética de la Clonación Reproductiva y Terapéutica (investigación) Bioética 2000, Nobel. SIBI, Oviedo.
- ❑ Soria, E. B, León- Quinto T., Jones J., Sepulcre P. Vergara, F., Vaca, P., Berna, G. Roche E. Reig, J. A., Martín F. “Estrategias para la Obtención de Células Productoras de Insulina a partir de Células Madre”. En: *Ética y Clonación, Realidades y Exageraciones*, 2002. Valencia.
- ❑ Sunstein C. “La Constitución y el Clon” En: *clones y clones*, cátedra 2000, Madrid.
- ❑ Tardu, M., *Le droit face au clonage* Editions du Conseil de l’Europe. Coordiné Par Anne McLaren, 2002 París.
- ❑ Verbeek P.P. Don Ihde: “The Technological Lifeworld”, en *American Philosophy of Technology. The Empirical Turn*. Indiana University Press, 2001.
- ❑ Wilmunt, A. E., Schnieke A. E., McWhir J., Kind AJ., Campbell K.H.S. “Vástagos Viabiles de Células Fetales y adultas de mamíferos”, En: *Clones y Clones*, Cátedra 2000, Madrid.

# ¿BIOMEDICINA O BIOTECNOLOGÍA APLICADA AL HOMBRE?

*Gilbert Hottois\**

## 1. BIOÉTICA Y CIVILIZACIÓN DEL CAMBIO

Los textos, las disciplinas, los intereses, las prácticas, las instituciones, etc. reunidos bajo el término “bioética”, son tan numerosos y diversos que algunos consideran que la “bioética” como tal no existe. Sería apenas una vaga etiqueta para evocar un fenómeno social confuso y multiforme, fácilmente disuelto por el análisis. Personalmente, yo considero que la bioética (no reducida al bioderecho, ni a una biomoral ni a la deontología médica) constituye un síndrome extremadamente significativo acerca de las preguntas, los problemas, las angustias y las esperanzas de nuestra civilización. Una civilización que yo describo como “tecnocientífica y multicultural”.

Las preguntas, los problemas y los temas que componen el campo borroso de la bioética son abordados a partir de enfoques muy diversos, irreductibles los unos con los otros. Esta diversidad tiene tres fuentes: la diversidad de las disciplinas implicadas (desde la filosofía o la teología hasta la medicina o el derecho); la diversidad de las filosofías, ideologías y religiones que subtienden las visiones éticas y la diversidad de los intereses (profesionales, económicos, políticos, etc.). Reconocida en toda su dimensión pluridisciplinaria y pluralista, la bioética reúne alrededor de la mesa a médicos, filósofos, juristas, sociólogos, biólogos, teólogos, etc. pero también a ecologistas, católicos, bioindustriales,

---

\* Academia Real de Ciencias, Letras y Bellas Artes de Bélgica y Universidad Libre de Bruselas.

políticos que toman decisiones, agnósticos, defensores de los animales, asociaciones de consumidores, etc. Todas estas identidades parciales se combinan en forma diversa y son afirmadas de forma desigual por los individuos. Existen dos imperativos metodológicamente importantes para el debate bioético: (1) que el debate sea auténticamente pluridisciplinario y pluralista; (2) que se sepa, en términos generales, quién es quién. Por ejemplo, las perspectivas de un psicoanalista freudiano ateo o de un filósofo cristiano, o de un médico agnóstico o de un genetista de una firma de biotecnología, etc. pueden ser diferentes y no se ven las mismas preguntas ni las mismas respuestas y no se comparten los mismos intereses. Cuando se respeta la compleja metodología del *pluralismo* y de la *pluridisciplinariedad*, puede ser muy laborioso e incierto llegar a un consenso en bioética. La mayor parte del tiempo sólo se llega a acuerdos parciales respetuosos de las diferencias irreductibles entre las personas y las tradiciones y, esto es normal, porque en lo referente a estos temas éticos y filosóficos, relativos al bien, al mal, al sentido de la vida, al valor de los seres y de sus formas de vida, al estatuto de la realidad última, etc., la humanidad siempre ha estado dividida. Lo importante es aclarar las posturas, exponer los argumentos y las objeciones, discutir sin restricciones y estar abierto a una revisión de las creencias iniciales, para concluir al fin, diferenciando puntos de consenso y de disenso. Esta metodología exige buena voluntad y perseverancia.

Como ustedes saben, yo soy filósofo contemporaneista, docente de una universidad laica comprometida con la libertad de pensamiento y de la investigación. Mi mirada sobre la bioética y sus problemas no es la de un médico o de un juez o de un teólogo o del biotecnólogo. Es una mirada naturalmente distante, crítica, independiente, con la preocupación del sentido global de las cosas y de explicitar y articular las preguntas más que de imponer una respuesta. Por lo menos, así concibo yo la intervención filosófica en el marco de un coloquio o de una conferencia. Sería de otra forma, por lo menos en parte, en el marco de un comité de ética en donde se espera que el filósofo prepare opciones y decisiones para ser traducidas, eventualmente, en forma de normas jurídicas y de leyes. Cuando se está implicado en un proceso de decisión o preparación para

la decisión, son indispensables cierto pragmatismo y alguna limitación del cuestionamiento. Este no es el caso en este momento, lo cual me permite plantear preguntas que me parecen filosóficamente fundamentales, sin la obligación de darles una respuesta unívoca.

La reflexión que les propongo trata sobre ciertos aspectos de la medicina contemporánea y de su futuro, en relación con los desarrollos de la biología y de las biotecnologías, en el seno de una civilización tecnocientífica y multicultural, apegada a las libertades individuales (derechos humanos, vida privada, deseo personal, individualismo) y ampliamente regulada por el mercado y el dinero. Una civilización, diría yo, fundamentalmente caracterizada por el *cambio*. Me refiero a una civilización cuyos actores no cesan de cambiar (de evolucionar, de transformarse, de destruir-crear) y de intercambiar. Los grandes operadores y mediadores de esta civilización del cambio son *el dinero y la técnica*<sup>1</sup>. El dinero permite intercambiar todo (bienes, servicios...), movilizar todo; es un operador de desontologización, de desacralización universales, pero su eficacia es puramente simbólica: cambia las mentalidades y no las cosas; su capacidad propia de modificar físicamente la realidad es nula. El dinero hace simbólicamente posible el intercambio de órganos, de territorios, de genes, es decir la venta y la compra de cosas anteriormente concebidas como sagradas, no disponibles, ontológicamente ligadas a su propietario primitivo o natural. No permite operar un injerto, explotar el petróleo o el mineral, transponer los genes en medicamentos o en organismos genéticamente modificados. Para esto, se requiere de la técnica. Ella es la única capaz de transformar físicamente el mundo, desde la roca o la bacteria hasta el cuerpo y el cerebro humanos. Mientras que el dinero puede estimular simbólicamente la trasgresión de fronteras simbólicas (prohibiciones morales, religiosas, tradicionales, normas éticas y jurídicas...), la creatividad técnica es la única que hace posible la superación

---

<sup>1</sup> Hay un tercer aspecto de la civilización del cambio del cual no hablaré aquí: el cambio en el sentido de "dar el cambio", engañar, hacer triunfar la apariencia, mitificar, cultivar la máscara y el simulacro o incluso el espectáculo. La técnica como artificio y el dinero como negador de todo valor ontológico o en sí (es decir "verdadero", "real") se encuentran. Habría mucho que decir a este respecto a propósito de la medicina "plástica" o de conveniencia.

efectiva de los límites naturales o técnicos disponibles heredados de las generaciones anteriores. El filósofo francés Jean François Lyotard, quien contribuyó a introducir el término “postmoderno”, subrayó, con el fin de operar la crítica política, la alianza tecno-capitalista entre el dinero y la tecnociencia.

Nuestra civilización del cambio en vía caótica de mundialización, es una civilización de procesos, de operaciones, de movibilidades incesantes, de diversidades movientes. En el plano global, no reconoce la ontología, el fundamentalismo, las esencias inmutables y necesarias, los límites infranqueables, el orden eterno de la naturaleza, la certeza dogmática. Como mucho, puede tolerarlas a título de creencias particulares propias de los individuos y de las comunidades, con la condición de que no desemboquen en la voluntad de imponerlas universalmente por la fuerza y la violencia.

Este es un bosquejo resumido del horizonte de la civilización -tecnocientífica, multicultural, individualista, caracterizada por el cambio- sobre el cual se desprende la problemática presente y futura de la medicina y de las biotecnologías.

## 2. LA PERSPECTIVA FILOSÓFICA ORIGINAL Y TRADICIONAL DE LA MEDICINA

Entre esta civilización del cambio incesante, regulada ( y por cierto también desregulada) por los operadores-mediadores, tales como la técnica y el dinero de una parte, y la filosofía tradicional de la medicina de otra parte, hay numerosos puntos de fricción e incluso de incompatibilidades.

La etimología indoeuropea rinde testimonio de la unidad original de la raíz común “*med*” de estas dos palabras: “medicina” y “meditación”.

Primitivamente, la *medicina* se presenta como un arte, puramente doméstico, tendiente a ayudar a la naturaleza a encontrar un equilibrio armonioso, cuya

ruptura se expresa en enfermedad, sufrimiento y lesión. Por su parte, la *meditación* es esta actividad muy pasiva que permite revelar, reflejar la armonía de las formas naturales buenas y bellas y de sintonizarse con ellas. Tradicionalmente, la medicina y la meditación gravitan alrededor de la idea de orden natural. Una y otra deben *cuidar* (*take care, curare*) los equilibrios y las armonías perceptibles en la naturaleza y los seres vivos. El pequeño tratado de Galeno (siglo II D.C.), comentarista de Hipócrates (Siglo V A.C.), titulado *Que el excelente médico también es filósofo*, es una expresión arquetípica de esta raíz común de la medicina terapéutica y de la meditación filosófica. La Naturaleza es la guía y la referencia que el médico y el filósofo deben observar. En este sentido, la Naturaleza se denomina “medicina suprema”<sup>2</sup>. Así consideradas, la medicina es filosófica y la filosofía es terapéutica. Pensar, curar...Al pensar, es decir al meditar, al contemplar, el hombre se cura y se realiza porque entra en resonancia con el orden eterno de las cosas. El sentido griego original de terapeuta sería: servidor (de Dios), adorador<sup>3</sup>. El terapeuta es el que cuida lo ya dado, es decir la Naturaleza o la Creación. La actividad terapéutica y la actividad teórica o contemplativa están estrechamente relacionadas. El terapeuta en el fondo sólo es el filósofo que interviene lo menos posible, lo más respetuosamente posible, con el fin de ayudar al restablecimiento del orden ontológico, accidental y superficialmente perturbado. Este orden esencial es el objeto de la contemplación del filósofo, forma suprema de la existencia humana.

La perspectiva filosófica original y tradicional de la medicina es *naturalista, esencialista, religiosa, muy poco intervencionista*.

### 3. LA PERSPECTIVA PROBLEMÁTICA DE LA BIOMEDICINA CONTEMPORÁNEA Y DE LA BIOÉTICA

Hablar de “biomedicina” en vez de medicina indica ya una ruptura. Este prefijo –evidentemente originado a partir de las palabras “biología” y

<sup>2</sup> “Cf Jouanna J., (1991), Hippocrate, Fayard.

<sup>3</sup> Cf rey A., (1992), *Dictionnaire historique de la langue française*, le Robert

“biotecnología”- ratifica el acercamiento de la medicina a estas ciencias y técnicas de lo vivo. Este acercamiento sugiere que el ser humano no ocupa ya un lugar ontológicamente diferente del resto de los seres vivos, sino que es un animal, producto de una naturaleza profundamente evolutiva. La medicina tiende entonces a identificarse, sin decirlo, con esta parte de las ciencias biológicas y de las biotecnologías que toman como objeto el animal humano o la especie humana.

El auge de la bioética que comprende el mismo prefijo “bio” es sintomático de la profunda mutación de la medicina, la cual se ha acentuado durante la segunda mitad del siglo XX y de la cual describiremos a continuación algunos aspectos importantes.

(a) Experimental- cada vez más activa, intervencionista- desde el siglo XIX, la biomedicina se convirtió en el siglo XX en una de las tecnociencias más “armadas” tecnológicamente. Cada vez está más asociada a otras tecnociencias, desde la biología hasta la cibernética, que no tienen necesaria ni exclusivamente al ser humano como objeto; cada vez más apartada de su tradición naturalista, la biomedicina diseña prácticas cada vez más artificiosas.

(b) La biomedicina ha jugado un papel decisivo en la evolución de la representación que el hombre tiene de sí mismo y de la naturaleza: como un ser vivo entre los seres vivos (es la “naturalización” del hombre); como un ser vivo producto contingente de una evolución natural inmensamente larga e imprevisible. Una evolución caracterizada por la abundancia de mutaciones y la ramificación extraordinariamente diversa de las especies y variedades, pero también por el enorme número de mutaciones sin porvenir y de especies vivas desaparecidas. La especie humana es descrita como un *producto* de una naturaleza destructora-creadora; no es más que la expresión de una esencia ontológica necesaria e inmutable en el seno de un orden natural armonioso. Lo que se denominaba “naturaleza humana” parece cada vez más contingente y operable, modificable (es la “operacionalización” del hombre), como lo son las otras especies vivas después de los desarrollos de las biotecnologías, especialmente la genética (transgénesis y clonación).

(c) La medicina contemporánea no cesa de extender sus operaciones a todos los sectores de la vida social y privada: medicina del trabajo, del deporte, medicina de la procreación, medicina al final de la vida, medicina paliativa, medicina de conveniencia o de bienestar o de deseo, neurología y psicofarmacología, medicina genética con alcance hereditario, medicina de las prótesis, medicina plástica, medicina transexual... Estas intervenciones biomédicas tienen un alcance cada vez menos indiscutiblemente terapéutico y cada vez más dictado por esperanzas, deseos, fantasmas, individuales o colectivos, dirigidos a la mejoría o simplemente al cambio del don natural o tradicional, "normal" o no. No rechazan la trasgresión de los límites y de los órdenes, puesto que límites y órdenes se perciben como contingentes y obstáculos para el pleno desarrollo del individuo o del grupo. Es importante observar que los límites relacionados con lo que se llama la *finitud humana* pueden otorgar sentido de dos maneras: (1) como referentes estables que definen el sentido de las cosas y de la vida y cuya aceptación aporta el sosiego; (2) como retos, fronteras para conquistar y cuya superación da un sentido a la existencia.

El auge de la bioética está ligado a esta evolución de las tecnociencias biomédicas cuyas capacidades de intervención no cesan de crecer e involucran cada vez más caracteres de la especie humana y del individuo que se juzgaban esenciales y no operables, constitutivos de la finitud: las modalidades de la concepción y del nacimiento, el genoma, la identidad sexual, las capacidades sensoriales, la fuerza física, el estado de ánimo... y pronto, la memoria, la inteligencia, el ritmo del envejecimiento y, tal vez, la fatalidad de la muerte. Confrontado cada vez con mayor frecuencia a solicitudes concernientes a estos aspectos de la humanidad, hasta hace poco totalmente fuera del alcance de la intervención humana y por eso asumidos simbólicamente por la filosofía y la religión, el médico está invitado a responder sobre la base de una tradición ética, deontológica, que no fue concebida para este tipo de preguntas, porque simplemente no se planteaban. Está invitado a aportar respuestas a solicitudes de alcance existencial y político que suponen y comprometen una concepción del hombre, de la naturaleza y de la sociedad. No es necesario evocar ejemplos extremos como la clonación o la terapia génica germinal; basta con pensar en

todas las preguntas suscitadas por las pruebas genéticas preimplantatorias, prenatales, antes de un contrato, para obtener un seguro, un préstamo, etc.

Se puede describir el auge de la bioética como el efecto de una toma de conciencia de esta inmensa extensión del campo de intervención de las ciencias y de las técnicas biomédicas que el cuerpo médico tiene cada vez más dificultad para administrar. En comparación con la deontología o la ética médica, la bioética parte del principio que la dimensión de las responsabilidades actuales y futuras del cuerpo médico es tal, que ya no es razonable que sean asumidas únicamente por los médicos. Puesto que el alcance y las consecuencias de los actos llamados médicos interfieren con las estructuras jurídicas, morales y políticas de la sociedad y revisten un alcance filosófico o religioso, se hace discutible que estos actos sean decididos únicamente por los médicos. En tanto que médico, el médico no tiene por qué encargarse ni arrogarse lo que corresponde a la filosofía, a la ética, al sacerdocio o a la teología, a la justicia o a la política social.

Al considerar que las preguntas planteadas por las ciencias y las técnicas biomédicas deben ser enfocadas de forma pluridisciplinaria y pluralista, la bioética simplemente reconoce esta evolución de la biomedicina contemporánea. Pero este reconocimiento tiene numerosas dificultades. El debate sobre la reducción de la bioética a ética médica o sobre la anexión de ésta por aquella como el sitio de una prehistoria que se remonta hasta Hipócrates, no está desprovisto de alcance ideológico. La primera postura tiende a confirmar el poder médico en su monopolio ético tradicional, monopolio –ya lo vimos- tanto más importante en la medida en que las tecnociencias biomédicas comprometen todos los aspectos del humano individual, social y específico. La segunda postura cuestiona y descentra este monopolio ético subrayando la necesidad y la legitimidad de una concertación pluridisciplinaria y pluralista, con ocasión de la cual cada vez más voces no médicas toman la palabra para pronunciarse a propósito del “asunto biomédico”.

#### **4. ¿BIOMEDICINA TERAPÉUTICA O BIOTECNOLOGÍA APLICADA AL SER HUMANO?**

(1) La bioética invita a reconocer la naturaleza problemática de la biomedicina contemporánea. Si bien reconocer un problema constituye un progreso, esto, por supuesto, no equivale a resolverlo. La formulación de los problemas y de las preguntas no debe esquivar la complejidad del contexto de la civilización en la cual surgieron. Este contexto histórico concreto está formado por sociedades más o menos conformes con esta civilización que yo describí como tecnocientífica y multicultural, individualista y que comprende comunidades tradicionales. Una civilización del cambio por el dinero y la técnica, en donde las identidades son parciales y móviles, compuestas y evolutivas. Una civilización de la diversidad, pero de la diversidad sin aislamiento puesto que todo se comunica, de tal forma que la diversidad con frecuencia es vivida como inequidad e injusticia, provocando tanto conflictos y tensiones como intercambios y enriquecimientos mutuos. Definir reglas y principios teniendo en cuenta esta complejidad inestable ha sido y sigue siendo el reto que la bioética intenta responder. En este sentido, los límites entre bioética, bioderecho y biopolítica están lejos de ser herméticos, aunque sea necesario esforzarse en “distinguir los géneros” si se quiere evitar que las sociedades postmodernas zozobren en la confusión. Un problema fundamental es la distinción entre lo que debe depender de la esfera privada y lo que debe ser regulado en el espacio público por la ley. El debate bioético tiene como misión aclarar y explicitar este problema con respecto a inquietudes concretas planteadas por la investigación y el desarrollo biomédico. Las sociedades democráticas modernas y los Estados seculares se construyeron sobre la base de la separación entre lo que depende de la libertad de conciencia individual (creencias filosóficas, religiosas, valores y elecciones morales, opción de vida, “derechos humanos”) y lo que debe ser organizado por la ley y la fuerza públicos. Pero esta división se arraigaba en una estabilidad fundamental –la de la naturaleza y de la “naturaleza humana”- y en una evolución relativamente lenta de las estructuras tecnomateriales de la sociedad. En nuestros días, las tecnociencias biomédicas y otras ofrecen, a individuos y a grupos que disponen de medios pecuniarios, la posibilidad de

quebrar esta estabilidad y este ritmo. Sobre todo, ofrecen a la conciencia libre de creer y de pensar (es decir, también de fantasear, de desear, de esperar, etc.), los medios operativos para la realización de sus creencias, de sus deseos y de sus representaciones más fantásticas. Por este motivo, en un libro reciente, Francis Fukuyama, quien hace poco hablaba del “fin de la historia” realizada en las sociedades democráticas liberales, reconoce hoy en día que no habrá “fin de la Historia” mientras que la investigación tecnocientífica continúe. Pero reacciona ante esta perspectiva de forma conservadora y reaccionaria esforzándose por reanimar y justificar la noción antigua de “naturaleza o de esencia humana”.<sup>4</sup>

(2) La ética médica tradicional, por su parte, tiende a no ver los problemas nuevos que surgen tanto de la evolución de las sociedades como de las tecnociencias. Reacciona negándolos o rechazando el recuestionamiento profundo que la seriedad de estos problemas exige. Conviene señalar además, que una gran parte de la medicina continúa ejerciéndose de una forma totalmente adecuada y sin tener que plantear estas nuevas preguntas, al interior de los marcos de la ética terapéutica tradicional. La mayor parte de las necesidades y de los sufrimientos humanos no requieren nada más y la medicina se practica más en el interior de la finitud y de la naturaleza humanas que en sus fronteras. Sin embargo, incluso esta medicina tradicional no siempre puede ignorar las solitudes – procreación médicamente asistida, aborto terapéutico o no, eutanasia, comercialización del cuerpo- las cuales, aunque ya son familiares, provienen de estas fronteras cada vez más discutidas.

(3) La dominación continuada de la ética terapéutica, con sus presupuestos naturalistas, incluso creacionistas, su ontología y su antropología dualistas y su paternalismo, está en vilo con respecto a (a) de una parte, la ciencia y la técnica contemporáneas cuyo marco más general es evolucionista, materialista, intervencionista y (b) de otra parte, la ética de la autonomía y de la libertad

<sup>4</sup> Cf *Our Posthuman Future*. Una problemática análoga es abordada por D. Lecourt en *Humain posthumain*, PUF, 2002; así como también en nuestra obra *Species Technica*, Vrin, 2001.

individual, una ética de la superación y del cambio, una ética, en resumen, tecnófila. La pregunta merece ser planteada: ¿se debe insistir en distinguir, según modalidades por definir, entre una medicina terapéutica y biotecnologías aplicadas al hombre? Hoy en día, la situación se ha hecho bastante confusa. Puesto que los médicos tienen el monopolio de hecho y de derecho de las intervenciones sobre el hombre, cada vez reciben más solicitudes para emprender investigaciones, experimentos y acciones que no son terapéuticos, pero que es necesario presentar y justificar con una retórica terapéutica que permita connotar, (por lo menos) implícitamente, la ontología naturalista tradicional. Los ejemplos no faltan: los usos de las procreaciones médicamente asistidas que no dependen de la simple paliación de una esterilidad comprobada son numerosos (madre portadora, inseminación post mortem, selección de sexo, parejas homosexuales...); la genética humana se ha desarrollado legítimamente con un fin de prevención y de terapia somática mientras que las posibilidades de intervención eugenésica, transgénica y sobre la línea germinal son evidentes y ya corrientes sobre los vegetales y los animales; la clonación sólo puede entenderse en el sentido terapéutico y si algunos osan considerar la clonación reproductiva, es también, y solamente, en una perspectiva de paliación de ciertas esterilidades... Se pueden encontrar ejemplos parecidos del lado de la investigación y del desarrollo (I&D) en el campo de las prótesis. La idea misma de prótesis implica la paliación, el reemplazo imperfecto de un órgano natural por un dispositivo artificial. Pero en la marcha de la protésica paliativa aún naturalista, se experimentan órganos artificiales de mayor rendimiento en la perspectiva de lo que algunos denominan el "cyborg" ("cibernética+organismo"). Desde hace tiempo, la cirugía plástica, primitivamente llamada "reparadora o reconstructiva" se ha convertido en la sirvienta de las modas, de los fantasmas, de los deseos personales y colectivos. Se podrían hacer las mismas reflexiones acerca de la psicofarmacología. La distinción entre "normal" y "patológico" está discutida. Desde hace más de medio siglo, el gran médico y filósofo francés, Georges Canguilhem, manifestaba el carácter problemático<sup>5</sup>. Canguilhem también era lector de Nietzsche. Para Nietzsche, el hombre es "la

---

<sup>5</sup> *Lo normal y lo patológico*, PUF.

bestia aún no fija”, el hombre está “esencialmente enfermo”, es decir es imperfecto, incompleto, se debe superar. El hombre, como se subrayó tanto en el siglo XX, se caracteriza por el deseo. Pero el deseo no es la necesidad que se puede colmar normalmente y, en principio, naturalmente. El deseo desplaza incansablemente su petición, es superación, transcendencia, trasgresión de los límites. El hombre siempre ha sido técnico y, desde siempre, ha fantaseado sobre la superación de la finitud. Pero esta superación de su condición permanecía imaginaria, simbólica. Con el desarrollo de las tecnociencias, se hizo cada vez más operativa. La biomedicina contemporánea es, lo quiera o no, un actor muy importante de este paso problemático de las transcendencias simbolizadas hacia transcendencias operadas.

En la segunda parte de esta exposición, quiero ilustrar consideraciones teóricas analizando dos nudos ejemplares del debate bioético: el tema de la clonación y el tema del dopaje<sup>6</sup>. Mi objetivo no es determinar la respuesta. Esta sería la finalidad de la discusión en un comité de ética integrado en el seno de un proceso de decisión. Mi objetivo es mostrar que las preguntas planteadas en bioética comprometen a la filosofía en toda su extensión –desde la filosofía de la naturaleza hasta la antropología filosófica- y que en este debate abierto se encuentra inmersa la bioética.

## 5. EL EJEMPLO DE LA CLONACIÓN

Lo que llama la atención de entrada en la literatura relacionada con la clonación, es el horror metafísico que la idea de la clonación humana ha motivado y que ha contribuido mucho a desencadenar su condenación universal *a priori*. Las pocas páginas dramáticas sobre la clonación reproductiva humana, publicadas en abril de 1997 por el Comité Consultor Nacional de Ética francés son totalmente ejemplares. Hablan de “perturbaciones inaceptables de la condición

---

<sup>6</sup> Se encontrarán complementos de estos temas en G. Hottois y J-N Missa, eds, *Nouvelle Encyclopédie de Bioéthique*, de Boeck, 2001), de donde se inspiran mis análisis.

humana”, de la “gran lotería de la herencia, con su inagotable incertidumbre, que constituye una protección importante del ser humano”, de “un atentado contra la condición humana”, de “salir de lo humano natural”, etc. Y concluyen con una inevitable “condenación ética vehemente, categórica y definitiva”.

Si bien este texto refleja el tono dominante, otra opinión contemporánea (el Informe al Presidente Clinton: Cloning Human Beings. Report and Recommendations of the National Bioethics Advisory Commission, junio de 1997) no trata sobre el pathos ontológico-metafísico y emprende un análisis prudente de los hechos y de los argumentos, a partir de una filosofía pragmatista más contextualista y evolutiva.

Voy a examinar sucesivamente dos conjuntos de argumentos relativos (a) a la identidad y (b) a la libertad de la persona clonada.

Quiero precisar que no consideraré aquí los fantasmas de la clonación eugenésica masiva en sociedades totalitarias. La técnica de la clonación sólo sería un medio nuevo para concretar el mal político constitutivo de este tipo de sociedad. Considero solamente la eventualidad de una pareja o de una persona que elegiría la reproducción mediante clonación por razones determinadas tales como la esterilidad total, la muerte accidental de un niño, el fallecimiento inevitable de un niño a falta de donante compatible de médula ósea, etc. El número de clones sería entonces muy limitado. ¿Se podría pretender seriamente que la identidad de estos clones con respecto al donante estaría negada al punto de poner en peligro su alteridad y su autonomía?

Se sabe que la identidad biológica de los clones está lejos de ser absoluta en razón de las diferencias ligadas al ADN de las mitocondrias, de las interacciones entre los genes y de las interacciones entre los genes y el ambiente, diferencias que aumenta la diferencia de edad entre el donante y el clon.

Pero sobre todo: la identidad biológica está lejos de agotar, e incluso de constituir, la identidad del individuo como ser humano. Su identidad personal

es psicológica, social, cultural. Estando más alejado del donante de lo que lo están entre ellos dos gemelos monocigotos, el clon tendría la latitud para constituirse una identidad personal propia.

Sin embargo, estas observaciones no pretenden negar que pueden aparecer problemas:

- Problemas que dependerían en gran parte de la manera cómo los clones serían recibidos en la familia y en la sociedad,
- Los problemas de identidad, de reconocimiento de la alteridad y de la autonomía de los niños son importantes y múltiples en el marco de la procreación sexual “natural” en relación con el padre, la madre, la familia y la sociedad a imagen de los cuales el niño es engendrado.

Como estamos aquí en un terreno altamente especulativo, no se puede descartar que un clon, que tiene un modelo único con el cual identificarse o contra el cual afirmarse, podría tener, en ciertos casos, menos problemas de identidad (sexual, especialmente) que un niño ordinario.

Sin embargo, en la sociedad tal y como existe y teniendo en cuenta, entre otras cosas, el número de discursos que satanizan la clonación, los clones encontrarían dificultades psicosociales graves. Pero esto se debe a las *circunstancias*. Naturales: la evolución ha hecho que la especie humana se reproduzca de forma sexual. Históricas: las representaciones y las instituciones sociales se construyeron a partir de este dato biológico interpretándolo de forma diversa (de ahí la variedad de los códigos simbólicos que regulan el parentesco), pero sin poder contrariarlo o ignorarlo totalmente. Sin embargo, este dato biológico es también un producto contingente de la evolución que las tecnociencias biomédicas comienzan a poder modificar efectivamente. Es filosóficamente discutible asimilar este producto natural operable a una esencia intemporal o a una estructura trascendental y, al mismo tiempo, considerar la reproducción sexual un carácter necesario y esencial del ser humano y de la persona humana.

En conclusión, los problemas potenciales de la clonación están ampliamente ligados a la auto-percepción y a la percepción social de los clones. Una situación bastante comparable a la de los niños de la fertilización in vitro que se banaliza –se normaliza- progresivamente, después de veinte años de práctica.

Según el Informe del CCNE francés, la clonación podría suprimir “la gran lotería de la herencia con su inagotable incertidumbre” que constituiría “una protección importante del ser humano”, es decir de la libertad. Este argumento comprende varios sofismas.

El primero radica en la idea misma de un determinismo genético. Como para el tema de la identidad, las interacciones genes/genes y genes/ambiente son tales que este determinismo es limitado, incluso en el plano biológico. Lo es aún más en el campo más importante: la evolución de una personalidad individual en sus lecciones existenciales psicossocialmente motivadas.

El segundo sofisma radica en la sugerencia de que el clon sería de alguna forma predecible y predeterminado porque su modelo adulto es conocido. Esta observación no tiene sentido cuando se trata de clonar un niño muerto o no. Pero incluso en el caso de clonación de un adulto, no es claro por qué el clon debe necesariamente repetir los errores o los aciertos de su progenitor. Se puede imaginar, por el contrario, que esto podría ayudarlo enormemente para no repetir ciertos errores. Una vez más, la auto-percepción del clon y la percepción social del clon serían muy importantes para desanimar o animar al clon para ejercer su libertad. La situación no sería más arriesgada que la de tantos niños condicionados y deformados por los padres, las familias o por cierta educación. El adoctrinamiento ideológico o religioso, las técnicas de condicionamiento psicológico y ciertos usos de los medios masivos de comunicación, constituyen formas de sofocación de la autonomía del prójimo y, al mismo tiempo, garantías de predecibilidad del comportamiento individual y colectivo mucho más temibles que la reproducción por clonación. Todos aquellos que quieren imponer “prohibiciones definitivas y absolutas”, situadas para siempre fuera de debate o discusión, alimentan directamente el determinismo y la

predecibilidad de los comportamientos individuales y comprometen el florecimiento de la autonomía personal, de la facultad de reflexionar y de escoger libremente en conciencia. Es fundamental subrayar que si la realidad de la persona humana es “espiritual”, o psicológica y cultural, social, entonces es a este nivel –el de la “clonación de los espíritus” y no de los cuerpos y de los genomas- que se encuentran los verdaderos riesgos.

El tercer sofisma radica en la idea de que la libertad humana sería directamente dependiente del indeterminismo, del azar de las combinaciones y mutaciones genéticas. Pero esto significaría que cualquier manejo responsable de la procreación (diagnóstico genético, terapia génica, aborto terapéutico o eugenésico, etc.) lesionaría la libertad del niño por nacer. Y el precio de esta libertad sería traer al mundo niños con incapacidades graves, así como la irresponsabilidad completa de la procreación entre parejas con riesgos. Pretender llevar la libertad humana –que postula la elección reflexionada y voluntaria, después de información y debate- a indeterminismos caóticos y azares imprevisibles de la naturaleza; de esta forma niega, en vez de honrar, al ser humano como ser de libertad.

La filosofía, en particular la filosofía kantiana, subraya que el ser humano es un ser de libertad, de juicio y de elección, sólo si también es un ser de razón. Considerar la “ruleta genética” una condición de posibilidad de este ser libre y racional es absurdo e incluso contradictorio. La facultad de escoger libremente no se debe localizar en los azares mutacionales de los genes ni en la impredecibilidad de un genoma individual. Es mucho más dependiente, especialmente, de la capacidad simbólica, de la competencia lingüística, de una educación no dogmática y de la existencia de “sociedades abiertas”.

Mi análisis crítico no es una apología de la clonación. Sólo es una defensa e ilustración de la libertad de pensar, de discutir y de evolucionar, así como de resistirse a los discursos que hacen pasar las creencias o los hechos por verdades universales y necesarias. La prohibición absoluta y definitiva que muchos desean ver imponerse a la clonación y que también quiere detener el debate

sobre este tema, no se justifica. Es la expresión de un sentimiento de angustia –cuya fuente es, sin duda, la experiencia abismal de la libertad humana. En efecto, el dogmatismo y el absolutismo aparecen, con frecuencia, como los mejores remedios para el miedo a la libertad. Desde el punto de vista filosófico, esta postura es inaceptable y más peligrosa –para las libertades fundamentales- que la que quiere condenar.

Por el contrario, el tono y las conclusiones del Informe al presidente Clinton elaborado por la National Bioethics Advisory Commission son más reservados y equilibrados y me puedo adherir a ellos sin problema. Este Informe expresa un consenso firme sobre una *moratoria* concerniente a toda forma de clonación humana con fines reproductivos. Este consenso se fundamenta en los desconocimientos y los riesgos biológicos de la técnica aún balbuceante y sobre el carácter muy controvertido del tema en el plano ético y, más generalmente, social. No niega entonces que haya debate (también entre los teólogos) y anima con entusiasmo para que el debate prosiga. No pretende prohibir por “los siglos de los siglos”, sino durante un tiempo limitado a algunos años, al cabo de los cuales se actualizará el tema.

En bioética, con frecuencia se está oscuramente confrontado con filosofías de la naturaleza rara vez explicitadas y, sin duda frecuentemente, inconscientes. Estas concepciones presupuestas a veces están más cerca de una variante de creacionismo que del evolucionismo neodarwiniano, más cerca de un mundo premoderno de orden y de esencias que de un universo de contingencias y de procesos en el cual el hombre puede, en forma creciente, intervenir libremente, con reflexión y con prudencia.

El verdadero desafío del debate alrededor de la clonación no es su prohibición factual. Reside en la filosofía de la naturaleza y la antropología filosófica de origen religioso y metafísico que los partidarios de una prohibición absoluta desean imponer, sin decirlo claramente y tal vez inconscientemente, con ocasión de tal prohibición. Pues una prohibición absoluta postula fundamentos ontológicos y/o teológicos. Una simple moratoria, por el contrario, remite a

una concepción empirista y evolucionista de la naturaleza, de la cual la especie humana hace parte y en la cual, en tanto que especie técnica, cada vez es más capaz de intervenir de manera creativa.

## 6. EL EJEMPLO DEL DEPORTE

Desde su origen griego, la representación de la actividad deportiva oscila entre dos filosofías que expresan dos ideales humanos: el del “equilibrio armónico del cuerpo y del espíritu dentro del respeto de los límites impuestos por la naturaleza” y el del “rendimiento y de la superación de los límites”. Pero, la filosofía del respeto de los límites no tiene más justificación que la de la superación de los límites. Muchos individuos permanecen bastante por debajo de sus potencialidades, lo cual es contrario a su plena realización. “Todo está en tí” es un lema perfectamente respetable. ¿Quién puede, legítima y objetivamente, establecer los límites de un individuo? Se conoce el carácter problemático de la noción de la salud. “Es el posible abuso de la salud lo que subyace en el fondo del valor concedido a la salud (...) El hombre normal, es el hombre normativo, el ser capaz de instituir nuevas normas, incluso orgánicamente” escribe Georges Canguilhem en su libro *Le normal y le pathologique* y prosigue: “La vitalidad orgánica se realiza plenamente en el hombre en plasticidad técnica y en avidez de dominación del medio”. La salud es “un sentimiento de seguridad en la vida al que no se le asigna ningún límite”.

Al igual que para el asunto de la clonación, una parte considerable del debate (especialmente alrededor del tema del dopaje) está alimentada por la valorización de lo natural en detrimento del artificio técnico o por la valorización de ciertas técnicas en detrimento de otras. La vieja oposición entre “natural” y “artificial” no es solamente criticable en lo que se refiere a la jerarquía que quisiera imponer, sino también en lo que se refiere a su pertinencia: en nuestras sociedades, existe algo que no sea, en grados variables, “artificial”, es decir “técnico-cultural”? ¿Queda algo natural, en el mundo del hombre? La mayor parte del tiempo, el término “natural” debería ser reemplazado por

“tradicional”: las técnicas llamadas “naturales” son, en realidad, aquellas a las que nos hemos acostumbrado a veces desde hace varias generaciones y que asimilamos como una “segunda naturaleza”. Sin embargo – y esto es particularmente cierto en el campo del deporte- numerosas técnicas, cuando no son simplemente paliativas, sirven para mejorar los rendimientos. El problema no sería entonces, la distinción entre naturaleza y técnica, sino entre técnicas “legítimas” e “ilegítimas”. Entre las primeras, se encontrarían principalmente las técnicas “externas” (mejores zapatos, mejores bicicletas, mejores materiales, mejores motores, etc.). En cambio, serían ilegítimas técnicas que afecten directa o físicamente al cuerpo humano y más particularmente aquellas que son de naturaleza bioquímica. Se encuentra aquí la inquietud filosófica fundamental del estatuto del cuerpo y de la relación del individuo con su cuerpo. En esta perspectiva, las especulaciones alrededor de un futuro eugenésico (somático o germinal) de los deportistas expresan una mirada o una inquietud comprensibles. En efecto, se puede suponer que si se va a desarrollar un eugenismo “positivo” en los próximos decenios, es probable que se lleve a cabo en el campo de la competencia deportiva. Los objetivos relativamente simples de esta última ofrecen un terreno abonado para los primeros experimentos de “*genetic enhancement*” (mejoría genética). En la actualidad, la competencia deportiva se ha convertido en una competencia altamente tecnocientífica, una competencia entre laboratorios.

Se reprocha a las técnicas de “*performance enhancement*” (mejoría del rendimiento) su capacidad para romper la igualdad entre los deportistas. Si ciertas técnicas están prohibidas por un reglamento y la prohibición no es respetada por todos, la igualdad de los concursantes se rompe en forma desleal. Pero dejando a un lado esta igualdad convencional o contractual, ¿cuál es la igualdad más fundamental que los artificios técnicos podrían destruir? En realidad, el deporte de competencia presuntamente “natural” no existe porque hay una desigualdad fáctica entre los individuos. La competencia explota las desigualdades naturales, biológicas y psicobiológicas. Condenar las técnicas como fuente de desigualdad se traduce solamente en preferir las desigualdades “naturales” a las desigualdades fabricadas por el hombre, o incluso en admitir

ciertos artificios –tradicionales o externos- en detrimento de otros. El deporte de competencia se nutre de desigualdades de todos los órdenes: biológicas, psicológicas, sociológicas, económicas, financieras, tecnocientíficas. En la medida misma en que transforma al vencedor en héroe, se sacraliza la desigualdad humana y se obtiene de ella un goce vital que los medios se encargan de compartir con cientos de millones de espectadores.

Otra objeción concierne a la autonomía del deportista. Metido en la lógica de la competencia, del dinero, de las técnicas, de los medios y de toda una serie de intereses asociados a la victoria, el deportista no sería autónomo. ¿Pero acaso no escogió él mismo esta forma de vida? ¿No es adulto (en efecto, se debe distinguir el caso de los niños y de los adolescentes), no está informado? ¿No es libre de correr o no ciertos riesgos al cabo de un cálculo entre estos y los beneficios esperados? ¿Y si los riesgos son más elevados, los beneficios (financieros o narcisistas) esperados no están a su medida? En vista del debate público y mediático que existe alrededor del dopaje, por ejemplo, en vista de la presencia de un personal médico y tratante (cuyo deber también es informar honestamente sobre los riesgos asociados a ciertas prácticas), el argumento del deportista “víctima inconsciente” es poco convincente. Tal vez se debería reforzar el imperativo de información y de alerta como responsabilidad del equipo médico y tratante. Acentuar también su responsabilidad jurídica y las sanciones, si ocurre un accidente, en caso de que el deportista haya sido mal informado en cuanto al riesgo que corría. ¿Pero acaso en nuestro contexto social, la función de la medicina deportiva no se ha vuelto profundamente ambivalente?

¿El médico, cuya vocación tradicional es la de cuidar y sobre todo, “no hacer daño”, puede ponerse al servicio de la invención, de la experimentación, de la administración de sustancias destinadas esencialmente al aumento de los rendimientos? La pregunta no es sencilla. Primero, porque la mayoría de las sustancias consideradas no son “multiplicadores de rendimiento” puros: esto depende de la dosis, del estado físico del individuo y de las circunstancias: una misma sustancia puede ser curativa, dopante o fatal. En segundo lugar y, más profundamente, como ya lo he subrayado, porque hoy en día hay un interro-

gante creciente sobre la identidad y los roles de la medicina la cual, en un número cada vez más grande de situaciones y de funciones, ya no es simple y tradicionalmente cuidadora. Las tecnociencias y las prácticas biomédicas están cada vez más a disposición de los deseos y fantasmas individuales o colectivos y menos al servicio de un orden, una integridad, un equilibrio llamados "naturales". A propósito de la medicina deportiva, surgen los problemas de fondo ya señalados. Primero, el de la legitimidad de la aplicación al ser humano de las posibilidades desarrolladas por las tecnociencias de lo viviente. Problema filosófico muy general y muy controvertido. En segundo lugar, el del mantenimiento de estas prácticas bajo "la autoridad de la medicina". Problema cuyo alcance social y político es complejo y sensible. En tercer lugar, el de la legitimidad deontológica, ética, jurídica de las intervenciones no terapéuticas en el sentido tradicional, efectuadas por médicos. Esta última cuestión debe tener en cuenta que la misma ley impone que sólo los médicos tienen el derecho de experimentar y, en forma más general, de intervenir técnicamente sobre el cuerpo y el cerebro del ser humano.

## 7. SIN CONCLUIR

La libre reflexión crítica sobre la biomedicina contemporánea en los límites de la biotecnología incluye preguntas que se desprenden de la filosofía y de la teología y cuyo centro es la cuarta pregunta kantiana: "¿Qué es el hombre?". Pero esta pregunta sobre el hombre está abierta hoy en día no solamente en el plano simbólico, en el de los textos y los discursos, de las interpretaciones y de las representaciones, de la hermenéutica. También lo está en el plano operativo: el del hacer, de la deconstrucción-reconstrucción y de la intervención tecnocientíficas, del cambio biofísico. La pregunta dominante tiende a ser "¿Qué vamos a hacer del hombre?", con un correlato esencial "¿Quién decidirá?" La biomedicina y, por lo tanto, los médicos, están, quiéranlo o no, en el centro de estas preguntas. Y se encuentran implicados de forma muy incómoda y en la ambigüedad, incluso en la ambivalencia. Se encuentran sobre la base de una tradición filosófica terapéutica naturalista desaprobada cada vez más por

aspectos de su práctica tecnocientífica y por las solicitudes que reciben. Se teme, con razón, una medicina “deshumanizada” y que ya no ve al individuo como una persona. Pero precisamente, las preguntas están abiertas: “Qué es el hombre?”, “¿Cuáles son los límites de lo humano?”, “¿Cuál es la identidad del individuo postmoderno, compuesto y móvil?”. “¿Por qué no responder a las peticiones y deseos de personas libres e informadas que tienen los medios pecuniarios para realizar por ellas mismas lo que las tecnociencias permiten hacer?”. Es dudoso que en el seno de sociedades pluralistas y evolutivas haya una respuesta unívoca a estas preguntas. Esto no es necesariamente lamentable, pues puede contribuir a la diversidad del mundo, a su riqueza y vitalidad. Pero esto también suscita legítimamente temores y remite a situaciones y procesos cada vez más complejos y difíciles de controlar. Pase lo que pase, apostemos, contra las filosofías de la Historia y contra las escatologías religiosas, que el “Fin de la Historia o de los Tiempos” no ocurrirá mañana. Las tecnociencias nos enseñan que somos los productos de una evolución vieja de varios cientos de millones de años y que el futuro abierto ante nosotros se extiende durante cientos de miles de millones de años. El filósofo no puede ignorar este doble abismo a partir del cual las preguntas, que se esfuerza en formular y en dilucidar sobre el hombre y el mundo, adquieren o pierden su sentido.

# CONSTRUYENDO LA EVOLUCIÓN. UNA DEFENSA FUERTE DE LA BIOTECNOLOGÍA

*Carlos Eduardo Maldonado\**

**E**l problema más difícil que encuentra el desarrollo científico no es intrínseco a la ciencia, sino, por así decirlo, extrínseco. Se trata de las distinciones entre ciencia y pseudo-ciencia. Como es sabido, C. Sagan dedicó los últimos años y trabajos de su vida a la elaboración de criterios que permitan distinguir claramente la actividad científica de la pseudo-ciencia, y al esclarecimiento del problema que la pseudo-ciencia representa para la racionalidad y la investigación científicas. Pues bien, en términos culturales o incluso populares, no hay ninguna área en la que la pseudo-ciencia sea tan prolífica como a propósito de la biotecnología. La pseudo-ciencia se caracteriza por que confunde y mezcla, o lo que es equivalente no distingue y separa. En contraste, la forma más básica de hacer ciencia consiste en la distinción lógica y metodológica de por lo menos tres cosas: conceptos, planos y contextos. Pues bien, la pseudo-ciencia mezcla e incluso llega a identificar conceptos con planos, plano con contextos, y contextos disímiles entre sí, así como planos diferentes y conceptos diversos.

La biotecnología es un área reciente de investigación experimental en la que confluyen, y de la que surgen, al mismo tiempo, campos tan diversos como la biología molecular, la nanobiotecnología, la ingeniería genética, la clonación, etc. La expresión más puntual de la pseudo-ciencia consiste en la ideologización de la biotecnología y en la confusión de varios de sus campos. Pero debo decir

---

\* Profesor - Investigador CIPE, Universidad Externado de Colombia.

que la expresión más sutil de la pseudo-ciencia consiste en la moralización de la ciencia y la tecnología, y muy específicamente, en la moralización de la biotecnología. Si en la esfera de la política se anunció hace ya algunos lustros el final de las ideologías, ellas persisten aún como amenaza a la ciencia de punta en la esfera experimental.

Son recientes, cada vez numerosos y sorprendentemente amplios los desarrollos, las aplicaciones y las experimentaciones de la biotecnología. Estas abarcan campos tan diversos y fructíferos como los alimentos genéticamente modificados, la producción de animales transgénicos, la utilización de células madres, las clonaciones de células, la producción de anticuerpos monoclonales, los trasplantes de órganos, la terapia génica, las vacunas genéticamente modificadas, los biotratamientos del medio ambiente, los biocombustibles (que son combustibles obtenidos a partir de la fermentación de materia vegetal), la micropropagación, la biocatálisis y la ingeniería de proteínas, el biolixiviado. Como se observa, hablar de la biotecnología equivale a representarnos un polígono compuesto por la propia biotecnología, la nanobiotecnología, la bioindustria, la bioinformática, la bioingeniería. Exactamente en este sentido, se dice que la biotecnología es una tecnología habilitante, esto es, con un amplio potencial de aplicación en diversos ámbitos, una situación que muy poco puede decirse de la mayoría de las tecnologías, y definitivamente para nada de las técnicas en general. No sin razón, alguien (Rifkin, 1999) ha sugerido el tránsito de la modernidad a la era de la biotecnología, como la transición de la alquimia a la algenia. (Recuérdese cómo un científico como I. Prigogine aún recuerda la base de la química vinculada a la alquimia: *ignet mutat res* (= el fuego cambia a las cosas). La algenia es ingeniería radical en cuanto que busca acelerar los procesos naturales mediante las nuevas creaciones. Es a la vez una manera de percibir la naturaleza y una forma de actuar sobre ella (Rifkin, 1999: 48).

Como quiera que sea, es manifiesto que la biotecnología representa una de las expresiones de la creciente complejidad del mundo contemporáneo<sup>1</sup>. El

---

<sup>1</sup> Otras de las expresiones son los desarrollos de la física, el auge de la química, los procesos de globalización en marcha, los desarrollos de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

reto radica en el hecho de que, culturalmente hablando, no estamos preparados para la transformación en curso que implica la biotecnología. Seguramente por ello abunda la pseudo-ciencia y, particularmente con respecto a la biotecnología, abundan la ideología, los temores infundados, la prevención, el apego cerrado a la tradición, la sospecha del futuro, en fin, el moralismo. No es, por tanto, una casualidad que la gran mayoría de las preocupaciones –por ejemplo de las preocupaciones éticas- de la biotecnología sean de tipo consecuencialista; esto quiere decir, que la mayoría de las preocupaciones por la biotecnología se concentren en las consecuencias de la biotecnología, del ADN recombinante, y demás. La bioética debe poder librarse del peso del consecuencialismo ético<sup>2</sup>.

En este texto me propongo elaborar una defensa fuerte de la biotecnología. Son cuatro las razones que sustentan esta defensa, a saber:

- a) La defensa de la biotecnología corresponde en realidad, de un modo que indicaré inmediatamente, a una defensa fuerte del cuidado y el posibilitamiento de la vida;
- b) La defensa de la biotecnología es exactamente la defensa de la información, el conocimiento, la investigación. Esta idea tiene claros elementos éticos, políticos y filosóficos que coinciden en la defensa de una sociedad de debate público, de derecho a la información, de libertad de investigación, y fundada en una producción crítica de conocimiento;
- c) La defensa de la biotecnología coincide con la defensa de la autonomía humana, y más ampliamente, con la autonomía de los sistemas vivos, en cuanto sistemas abiertos energética, informacionalmente, aun cuando sean estructuralmente cerrados; finalmente,
- d) La defensa de la biotecnología no es otra cosa que la defensa de la pasión humana por tomar el destino en sus propias manos. Al fin y al cabo no de

---

<sup>2</sup> El consecuencialismo ético consiste esencialmente en el fomento de valores, y no tanto en su defensa, y encuentra el fundamento de su racionalidad en el sentido común. Para el consecuencialista, los valores justifican las elecciones. El consecuencialismo ético es la postura adecuada para valorar las elecciones de una colectividad, pero no así la de sus miembros: la colectividad debería elegir de forma que se fomenten sus valores. Cf. "Consecuencialismo ético", de P. Petit, en: P. Singer, *Compendio de ética*. Madrid, Alianza, 1995, págs. 323-336.

otra cosa se trata toda la aventura de la vida, por lo pronto, en su expresión humana.

Sin embargo, debo decir que esta defensa de la biotecnología es tan sólo una estrategia indirecta para sostener una tesis. La tesis que propongo aquí es la de que la biotecnología es una estupenda ilustración de un fenómeno aún más relevante, a saber: el hecho de que, por primera vez en la historia del cosmos, la evolución no es ya simplemente un fenómeno que le acaezca a la vida, y con ella, entonces también a los seres humanos. Por el contrario, por primera vez en la historia de este universo, hay una especie que se ha lanzado a la aventura de *construir la evolución*. La biotecnología es la primera de las formas como esta construcción de la evolución está comenzando a tener lugar. Este es el problema más apasionante para la teoría de los sistemas vivos, pero entonces, con ella, quiero sostener que este es el fenómeno más apasionante, directo e inescapable para la bioética. Se trata del hecho de que, hacia futuro, la vida ya no simplemente será el objeto de la evolución, sino, mejor aún, la vida puede incidir en el diseño de sí misma y de su propio futuro. La forma en que la vida puede llevar a cabo este nuevo momento en la historia del cosmos, es gracias a los seres humanos. Sin embargo, esta aventura comprende e implica otras formas de vida además de los seres humanos. Tal es la tesis que me propongo defender con este texto. Si es posible, quisiera decir que en la formulación de esta tesis no me encuentro sólo, y sin embargo, quienes confluimos en una posición parecida sí somos, hasta la fecha, demasiado pocos<sup>3</sup>.

Así, pues, aquello de lo que verdaderamente se trata con los temas y problemas de biotecnología es de la defensa fuerte –y en este sentido, de la defensa sin más- del cuidado de la vida. La razón precisa por la cual se trata de una defensa fuerte y no simplemente blanda, consiste en que la tesis que quiero sostener no solamente hace referencia a la vida tal y como la conocemos –lo

---

<sup>3</sup> Entre quienes se sitúan en esta dirección quisiera mencionar a C. Langton (1996), G. Dyson (1997), J. de Rosnay (2000), R. Kurzweil (1999).

cual es a todas luces relevante y necesario-, sino, además y fundamentalmente, a la vida tal y como podría ser posible<sup>4</sup>. Ya volveré sobre este último aspecto.

Es importante advertir que es posible y necesaria una defensa fuerte de la biotecnología sin concentrarse, para nada, en argumentos éticos, y ciertamente no en el sentido tradicional de la ética. Un rasgo distintivo de las éticas tradicionales –y que aún persiste en la corriente principal de la bioética, desafortunadamente-, es que se definen como diferencia y en oposición a la investigación científica. En una palabra, desde la perspectiva tradicional, una cosa es la ética, y otra muy distinta la ciencia. En contraste, mis argumentos para la defensa de la biotecnología, que es, en rigor, una defensa de la vida artificial, se fundan, todos, en el cuidado de la vida, la defensa de la vida, en fin, en el posibilitamiento de la vida en general. Para ello, quiero tomar como partida una idea de J. de Rosnay: asistimos a un nuevo origen de la vida (de Rosnay, 2000). Si se me permite, quisiera apropiarme de esta idea, a fin de radicalizarla, y con ello mismo transformarla de una manera significativa. Metodológicamente hablando, todo el sentido de este texto, es una radicalización de la idea de de Rosnay.

De acuerdo con uno de los clásicos de la bioética, la bioética se define como una ética de la tecnociencia (Hottois, 1991). Esto quiere decir lo siguiente: la bioética se define indirectamente de cara a los temas de salud-enfermedad, y directamente a lo que define propiamente a los temas de salud-enfermedad, a saber: la ciencia-tecnología, y más globalmente, la investigación y el desarrollo. Por nuestra parte, hemos radicalizado esta posición sosteniendo que la bioética se define de cara a la vida y en relación directa e inmediata con la ciencia y la tecnología.

---

<sup>4</sup> Esta es una distinción que retomo del programa de investigación científico-filosófico que es la vida artificial. Como es sabido, en vida artificial cabe distinguir la “vida artificial suave” (soft artificial life) de la “vida artificial fuerte” (strong artificial life). Aquella consiste en el estudio de la vida tal y como efectivamente existe; ésta, por el contrario, en la vida tal y como podría ser.

No hay que olvidar nunca la advertencia lúcida de G. Hottois: existe una fuerte carga de fobia hacia la ciencia y la tecnología de parte de quienes enarbolan el peso de la ética como distinta, ajena y distante de la ciencia (Hottois, 1999). (El término que emplea Hottois es: “tecnosciofobia”: *technosciofobie*). Existen sectores claros, social, política, económica e ideológicamente muy fuertes, interesados en la bioética como en una empresa eminentemente ética contrapuesta a los desarrollos de la ciencia y de la tecnología, recelosa de la investigación y el desarrollo; sectores que marcan con fuerza a la corriente principal (*mainstream*) de trabajo en bioética. Para estos sectores, el trabajo en bioética es un mandato que adquiere el nombre y la bandera de una “nueva evangelización”. Para estos sectores, los mayores escándalos se encuentran en los dilemas del comienzo y del final de la vida, y definitivamente que la biotecnología altera el curso natural de las cosas. En una palabra, para estos sectores, la bioética es una cosa, y la ciencia y la tecnología otra distinta. Pues bien, es contra estos sectores que clásicos de la bioética como Engelhardt y Hottois coinciden en la importancia de sostener una cultura pluralista y tolerante, una bioética secular (Engelhardt, 1995; Hottois, 1991).

El éxito de la biotecnología es el triunfo de la técnica y la microingeniería, pero no de la teoría. Notablemente, la biotecnología es el triunfo de la técnica o la tecnología y la industria, en cuanto que es básicamente la explotación de los materiales y procesos biológicos para satisfacer las necesidades humanas, utilizando a los microbios y a las células como si fuesen fábricas, y a las enzimas como sus trabajadores (Aldridge, 1999). Sin embargo, quiero insistir en el hecho de que estas transformaciones eminentemente ingenieriles implican asimismo profundas transformaciones conceptuales. La bioética no puede ser ajena a estas transformaciones en el plano experimental, pero particularmente no en el plano teórico o conceptual, pues aquello de lo cual, verdaderamente se trata con los procesos en marcha de la biotecnología es de una comprensión de la vida. No es posible hacer bioética ni ocuparse seriamente con ella si las preocupaciones bioéticas no van acompañadas, por lo menos, si no precedidas, de una clara y sólida comprensión sobre la vida y los sistemas vivos. Sólo de esta manera es posible que lo que aparece como externo y ajeno -ciencia y ética-,

puedan integrarse y fortalecerse recíprocamente. Exactamente en este sentido hemos sostenido la idea de que la bioética es una disciplina científica que comprende claras y sensibles preocupaciones éticas; o bien, para decirlo negativamente, hemos sostenido que la bioética no es simplemente una ética, que pueda acaso referirse a la ciencia, la experimentación y las nuevas tecnologías. Eso sería empobrecer mucho a la bioética<sup>5</sup>.

Asistimos a un nuevo origen de la vida. Un primer origen fue aquel que ha logrado explicarse mediante la confluencia de la teoría de la evolución y la teoría de la autoorganización, y que se concentra en la vida fundada absoluta y exclusivamente en el carbono. Es la vida que designamos como “natural”. Pero ese no es el único origen de la vida. Asistimos actualmente a un nuevo origen de la vida, o lo que es mejor, al origen de otro tipo de vida; o también, en otras palabras, a un segundo origen de la vida, dos maneras distintas de decir una sola y misma cosa. Nosotros somos los artífices -las neuronas, por decir lo menos-, de este nuevo origen. Se trata de una vida creada por nosotros mismos, y que se funda ya no solamente en el carbono, sino, además, en dos formas adicionales que, aunque aparentemente diversas, confluyen en un mismo punto: se trata de la producción de organismos transgénicos, y de la vida basada en el silicio. El punto en el que estas dos formas, disímiles, confluyen, es a partir de diseños humanos. La biotecnología y la ingeniería genética confluyen y se refuerzan mutuamente. Sin embargo, debe quedar aquí lejos cualquier idea de una creación a partir de nada –*creatio ex nihilo*–, pues esa es tan sólo una expresión, en la teología cristiana, de una hipótesis de trabajo a partir de la cual se elaboran muchas otras interpretaciones y explicaciones. La creación de nuevas formas de vida, o bien, la nueva creación de la vida es posible gracias a la experimentación, los modelos creados, en fin, los proyectos y programas de investigación en curso.

---

<sup>5</sup> Tal es la idea que hemos venido explorando en la línea de fundamentación de la bioética en la Maestría de Bioética de la Universidad El Bosque, desde el año 2001. Como resultado de este trabajo nos encontramos adelantando una investigación sobre la complejidad de la bioética.

Desde este punto de vista, cabe distinguir dos tipos de vida perfectamente distintas, y sin embargo no contrapuestas: de un lado, se trata de la vida natural, fundada en el carbono, como una propiedad emergente de la materia, y más específicamente, de la química orgánica; de otra parte, hablamos de la vida producida por el ser humano. Pues bien, a propósito de esta distinción, quisiera mencionar una subtesis: a pesar de que los desarrollos en biotecnología son eminentemente experimentales, y sólo tentativamente, esto es, conjeturalmente –a la manera de Popper, exactamente-, pudiera avanzarse hacia una elaboración teórica o conceptual de lo que hace, lo que está implicado y el significado de la biotecnología, sí es posible inscribir a toda la empresa de la biotecnología en un capítulo propio de la investigación actual. Se trata de la vida artificial. En una palabra, la biotecnología es, a pesar incluso de que ella así no lo sepa, una expresión de la vida artificial, esto es, de la vida hecha por el hombre y no ya por la naturaleza (Maldonado, 2000).

I. Stewart ha mostrado de una manera lúcida y directa, que, la vida posee dos secretos: el primero ya fue develado: se trata de la estructura del DNA. La continuación de este secreto conduce a ese programa de investigación que es el Proyecto Genoma Humano, con sus dos fases: la identificación del mapa genético, y el eventual desarrollo futuro de la proteómica. El segundo secreto, sostiene Stewart, consiste en principios universales matemáticos de crecimiento y forma que el DNA explota (Stewart, 1998: 93). Si el título en el que se concentra el primer secreto es el de la biología molecular y la biotecnología, el título en el que se concentra el segundo secreto son las biomatemáticas. Con ello, se hace manifiesto un hecho magnífico, a saber: en la base de la biotecnología, y más integralmente, de la biología natural tanto como de la vida artificial se encuentran las biomatemáticas. El fundamento teórico de los fenómenos de vida –natural y artificial-, son las biomatemáticas, esto es, el estudio de las estructuras, su conservación y transformaciones de los sistemas vivos. La bioética encuentra y debe encontrar aquí una arena de trabajo inescapable.

Pues bien, lo anterior significa que, referido específicamente al caso de la biotecnología, ésta implica y se acompaña del desarrollo de otras ciencias, notablemente de la física, la química, la ciencia de materiales, y del progreso

económico. Es preciso advertir que esta es una especificidad –cultural-, de la ciencia actual, y exactamente en este sentido hablamos de ciencia de frontera y de problemas de problema.

Ahora bien, ¿en dónde radica el escándalo que la biotecnología plantea para una muy buena parte de los moralistas, los filósofos morales, sacerdotes y para el sentido común? En los ritmos de combinación, que son, en realidad, ritmos temporales<sup>6</sup>. La evolución natural ha adquirido velocidades nunca antes conocidas. La forma en que la evolución natural ha cobrado un ritmo propio es como evolución cultural. Mejor, para decirlo llanamente: la evolución cultural se ha superpuesto a la evolución natural, y hace que los ritmos y velocidades de la evolución cultural parezcan catastrofistas relativamente a la lentitud de la evolución natural. No hay que llamarse a engaños: si después de Newton y de Darwin se impuso casi unánimemente el gradualismo en la cultura occidental, la biotecnología es un fenómeno científico, y por extensión cultural, que parece tomar el partido de los catastrofistas, que fueron derrotados por la dupla Newton-Darwin, y por la historia subsiguiente.

Como es sabido, son cuatro las áreas en las que la biotecnología al mismo tiempo ha incidido enormemente y ha encontrado sólidos terrenos de desarrollo. Se trata de las áreas de la salud, la agricultura y la agronomía, el medio ambiente, los mares y bosques. Como se aprecia, no existe prácticamente ninguna dimensión de lo vivo en la que la biotecnología no cumpla un papel destacado, incluso central.

Hoy en día no estamos tan dispuestos a aceptar el destino. Hemos aprendido –en realidad, estamos comenzando a aprender-, a tomar el destino en nuestras propias manos. Pues bien, para decirlo en lenguaje filosófico, ese exactamente constituye el rasgo excelso y distintivo del *bios*, en contraste con la *zoê*. Como se recordará, a partir del *De Anima* de Aristóteles, la *zoê* designa aquellas formas de vida a las que el tiempo, el destino, la evolución les acaecen a

---

<sup>6</sup> Entre quienes se dedican a la bioética entre nosotros, I. Carvajal y D. Meneses se han concentrado en este tema: el de los ritmos y las velocidades de los procesos vivos referidos a los temas y problemas de bioética, en sus tesis de Maestría de la Universidad El Bosque.

los seres vivos; en contraste, el *bios* designa aquella forma de vida que toma el destino en sus propias manos, y que por consiguiente hace del tiempo y de los problemas de temporalidad un asunto propio puesto que en ello va su propia existencia. Dicho en estos términos, el objeto propio de la bioética no es tanto la *zoê*, como el *bios*, y entonces se trata de estudiar ese *bios* al cual le va *el ethos*, puesto que no a todo *bios* –o mejor, *zoê*-, le va el *ethos*. La bioética se revela así como el estudio de los sistemas vivos –lo cual es un asunto magníficamente complejo-, a los que el *ethos* les va como a su propio destino.

Lo anterior puede ilustrarse muy bien, por ejemplo, gracias a los trabajos que S. Sontag ha elaborado acerca de la enfermedad como una metáfora social o cultural. Esa metáfora ha sido estudiada por Sontag en relación directa con el cáncer y con el sida, pero podría y debería extenderse también a otras patologías. Decir, por ejemplo, que el cáncer fuera abordado con una repugnancia irracional y como disminución del yo; o que la epidemia del sida sirva como proyección ideal para la paranoia del Primer Mundo, puesto que, por sus orígenes es un invasor quintaesencial del Tercer Mundo, no son sino expresiones de metáforas introducidas para excluir y moralizar a los portadores de enfermedades semejantes. Pues bien, el sentido preciso de la bioética en este punto consiste en acusar la crítica de estas y otras metáforas, y en poner de manifiesto la importancia de la investigación científica para que, por lo menos, la enfermedad no sea adoptada como fatalidad, sino, podamos incidir sobre ella; sobre la enfermedad, tanto como sobre la senescencia o la muerte. Los seres humanos pueden adoptar el destino en sus propias manos, con lo cual el respeto por, y la autonomía de, la vida se torna inmensamente más sensible y significativa. Ya volveré sobre este argumento e ilustración. Mientras tanto, lo relevante de esta ilustración radica en que el estudio de la enfermedad, tanto como de la salud como una metáfora merece un lugar destacado también en la bioética, notablemente en la bioética médica.

La evolución simplemente sucede, en rigor, acaece. A las especies vivas la evolución les sucede –esto es, a pesar suyo-, análogamente a como en la economía clásica de A. Smith, la mano invisible regula el mercado. En rigor, pen-

sar en términos evolutivos o evolucionistas corresponde exactamente a pensar en términos teológicos, o por lo menos providencialistas. La evolución les sucede a los seres vivos sin que ellos puedan hacer nada a favor o en contra, y es ella la que decide.

Todas las teorías, científicas o filosóficas, se dividen en dos (aun cuando, en realidad, se clasifican en tres tipos, como veremos). De un lado, se encuentran todas las teorías que son pre-evolucionistas. En este sentido, entran en esta categoría las teorías que cronológicamente hablando son anteriores a la teoría de la evolución, pero también entran en esta categoría, aquellas teorías –numerosas todavía, desafortunadamente-, que son posteriores a la formulación y desarrollo de la teoría de la evolución pero que, por alguna extraña razón, no saben nada o ni quieren saber nada de evolución. En esta categoría entran la gran mayoría de las teorías científicas y filosóficas y, cuantitativamente, es la más importante<sup>7</sup>. Un segundo gran grupo es el de las teorías que, grosso modo, podemos designar como evolucionistas. Sólo que este término exige aún una precisión.

En segundo término, se encuentran las teorías evolutivas o evolucionistas. Otra manera de comprender a este grupo, es en cuanto teorías genéticas. (Una buena ilustración de una teoría denominada genética pero que es esencialmente evolutiva, es la epistemología genética de K. Popper)<sup>8</sup>. Se trata de las teorías

---

<sup>7</sup> Una observación importante. No absolutamente todas las teorías anteriores a la teoría de la evolución entran en esta primera clasificación, puesto que existen algunos casos, ciertamente escasos, de autores que o bien de manera plena o incipientemente, afirman o contienen tesis, problemas y desarrollos que nos permite claramente clasificarlas en términos de las otras dos categorías, esto es, como teorías evolutivas o evolucionistas, y como teorías dinámicas. Dos buenos ejemplos, distintos entre sí, de esta clase de autores son Haráclito y, si hemos de creerle a R. Thom, Aristóteles. Otros ejemplos podrían mencionarse igualmente al lado del Oscuro de Éfeso y del Estagirita.

<sup>8</sup> Una buena presentación, y no tan técnica como otros libros (centrales) de Popper Popper sobre la epistemología evolutiva se encuentra en *El cuerpo y la mente*, Barcelona, Paidós, 1997. Pero los textos clásicos de Popper sobre la epistemología evolutiva son *El conocimiento objetivo*, Barcelona, Tecnos, 1988 y *Conjeturas y refutaciones*, Barcelona, Paidós, 1994. De otra parte, véase, Maldonado, C.E., "El problema mente-cuerpo en la filosofía de K. Popper. La superación del dualismo", en: *Semana del pensamiento filosófico. Popper: Los grandes debates del siglo XX*, Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Año 3, No. 3, 2002, págs. 129-142.

que, o bien hacen uso, o contribuyen de una manera significativa a desarrollar, la teoría de la evolución y, en general, un enfoque evolutivo o evolucionista.

Como tendremos la ocasión de mostrarlo posteriormente, ambos grupos, las teorías pre-evolucionistas y las evolutivas constituyen una unidad, relativamente al tercer grupo –que aún debemos mencionar-. En verdad, ambos grupos constituyen teorías clásicas análogamente a como, por ejemplo en física, se habla de la mecánica clásica y de la mecánica cuántica, como teorías clásicas. (Como es sabido, la razón para esta denominación radica en el hecho de que la física clásica, newtoniana, relativista o cuántica, no distinguen entre el pasado y el futuro).

En tercera instancia, se trata de las teorías que, negativamente hablando, podemos denominar como post-evolucionistas, y que, más adecuadamente, conocemos como dinámicas; dinámicas, o caóticas o, aún exactamente, en realidad, como no-lineales. Volveré inmediatamente sobre este tercer grupo, pues antes se hace necesaria una precisión.

Como ha sido ampliamente expuesto por parte de numerosos autores que se llaman a sí mismos como evolucionistas (notablemente, R. Dawkins o S. J. Gould), la paradoja grande con respecto a la teoría de la evolución es que mucha gente habla de ella y cree conocerla, cuando en realidad existe un amplio y profundo desconocimiento acerca de la teoría de la evolución<sup>9</sup>.

Se hace imperativa, por lo tanto, una mejor comprensión de la teoría de la evolución, pero de manera indirecta, aunque permanente. Sin embargo, nuestro interés se concentra en otro punto, a saber: la unión especial que existe entre la evolución y la complejidad, un tema bastante más delicado. Quisiera

---

<sup>9</sup> Estas opiniones de Dawkins y Gould se encuentran especialmente en: R. Dawkins, *El relojero ciego*, Barcelona, Labor, 1988, ya desde la primera página del prólogo, y, S. J. Gould, *La grandeza de la vida*, Barcelona, Crítica, 1997, en numerosos pasajes, pero con especial claridad en págs. 31 y ss.

sugerir esta unión entre complejidad y evolución<sup>10</sup> con la expresión: *construcción de la evolución*. El fenómeno de máxima complejidad hasta el momento puede ser caracterizado como esa forma de vida –los seres humanos–, que producen otras formas de vida como sí mismos, como otras formas naturales, pero también otros tipos de vida que poco y muy poco tienen que ver con la vida natural. La máxima complejidad para el estudio de la bioética radica exactamente en este punto. Y este es tanto un asunto científico y filosófico como ético, cultural y político, y no una cosa más que otra (Maldonado, 2003a). La biotecnología es una de las más puntuales expresiones del hecho de que estamos construyendo la evolución, por primera vez; el universo ha comenzado a construir su propia evolución. Para decirlo inversamente: por primera vez, la evolución dejará de ser algo que sencillamente nos acaezca.

Quisiera sugerir en este punto volver a considerar lo que dice J. de Rosnay<sup>11</sup>. De Rosnay tomas como hilo conductor un fenómeno que, aun cuando él mismo no lo presenta en esos términos, constituye un hecho auténticamente cultural. Cultural y no solamente científico (y mucho menos filosófico). Asistimos, como resultado de la evolución cultural al origen de una nueva forma de vida. Esta forma de vida es *híbrida*, pues es al mismo tiempo biológica, mecánica y electrónica. En términos más sencillos: la nueva forma de vida, híbrida, es a la vez natural y artificial, y no más una cosa que la otra. Este fenómeno se ha iniciado hace ya varias décadas, muy pocas en realidad, pero a pesar de ser un hecho cultural, no por ello es de claro reconocimiento público. La conciencia general aún es miope o ciega ante esta nueva forma de vida. El tema de fondo de las reflexiones de de Rosnay es justamente ese: el estudio del nacimiento de

---

<sup>10</sup> Hablamos aquí, genéricamente, de teoría de la evolución, pero ello no significa que desconozcamos la precisión entre "teoría de la evolución" en general, con lo cual hacemos especial referencia a Darwin, y el neo-evolucionismo, también conocido como el neo-darwinismo, y que es la unión entre la teoría darwiniana de la evolución y la genética de Mendel.

<sup>11</sup> De Rosnay es el director de estrategia para la ciencia y la industria complejas del centro La Villete en París. Como es sabido, La Villete, situado en el norte de París, es el centro industrial estratégico más importante de Francia, y allí se desarrollan todos los proyectos de I & D de punta. Es altamente significativo, entonces, que la complejidad aparezca como el pivote central en las políticas de I & D franceses.

una nueva forma de vida y su significado para la vida de todos nosotros y para el futuro (2000: xiii).

La evolución natural se denomina, más adecuadamente, para los seres humanos y para los productos originados por éstos, no ya más como tal, *evolución natural*, sino, más exactamente *evolución cultural*. Para nosotros, la cultura ha tomado el peso y la delantera sobre la naturaleza, y aquella existe efectivamente para nosotros en la forma misma de la cultura. La naturaleza humana consiste en ser cultural. De cara a la teoría de la evolución esto tiene una inmediata consecuencia, a saber: para los seres humanos, globalmente dicho, la selección natural ya no existe y ha dejado de operar a gran escala. Para los seres humanos opera otro tipo de selección: la *selección cultural*. Como es sabido, la selección constituye uno de los mecanismos, a partir de Darwin, mediante los cuales podemos explicar la evolución<sup>12</sup>. Pues bien, exactamente en esta línea, podemos decir que la evolución cultural se explica a través de mecanismos culturales de selección, y no ya principal o exclusivamente, a partir de mecanismos naturales de selección. La bioética nace y se desarrolla en este nuevo contexto, y lo suyo consiste en mirar hacia delante, como a las posibilidades, retos y amenazas de dos continuos: el continuo vida-no vida, y el continuo vida natural-vida artificial. Ambos continuos conforman una difusa unidad.

Asistimos a un nuevo origen de la vida. Esta idea es altamente importante, y merece ser considerada más cuidadosamente. La vida no ha tenido un único origen y, más radicalmente, es fundamental reconocer que el concepto de origen

---

<sup>12</sup>

La teoría de la evolución, como es sabido, no es obra de Ch. Darwin, pues ya existía antes de Darwin, notablemente gracias los trabajos de Owen. La originalidad de Darwin consistió en suministrar argumentos científicos, por tanto explicativos, que permiten entender cómo opera la evolución. Esos argumentos son esencialmente dos: la selección y la adaptación. Como se recordará, en el trasfondo de los orígenes de la teoría de la evolución se encuentra el debate, profundo y radical en su momento, con los catastrofistas. En el marco del debate entre los evolucionistas y los catastrofistas se encuentran dos figuras centrales de la ciencia y el pensamiento contemporáneos: Darwin, y el padre de la geología, Ch. Lyell, quien publica en 1833 los Principios de la geología, es decir, casi treinta años antes que *El origen de las especies*.

no debe ser entendido, como ha sucedido en la inmensa mayoría de la historia hasta hoy, como un acontecimiento que tuvo lugar atrás –“antes”-, y que queda detrás a partir del cual suceden otras cosas: la historia de lo originado. Para el pensamiento mítico, religioso, popular y filosófico en sentido amplio, esta comprensión del origen ha tenido consecuencias no siempre benéficas y generalmente desastrosas. En efecto, la historia de lo originado ha consistido en una búsqueda de los orígenes y, consiguientemente, en un retorno a él. Esto se ilustra, en ejemplos tales como: el psicoanálisis freudiano y su afirmación de la búsqueda de, o el retorno a, el útero; la filosofía de Hegel y de Heidegger, y el retorno a los griegos como al auténtico pensar y vivir; el cristianismo y el retorno a Dios, de donde vinimos, y muchas otras extensiones. Sería muy fácil continuar con la lista de ejemplos.

La idea que presenta de Rosnay –pero que en rigor no elabora ulteriormente- es la de que asistimos a un nuevo origen de la vida, a saber: estamos construyendo la vida híbrida desde *adentro*<sup>13</sup>. Dos ideas caben y deben ser puestas claramente sobre la mesa, a la luz del día:

- a) Existen varios orígenes y, en manera alguna, un solo origen, que habría sucedida una sola vez y para siempre, y del cual todo habría brotado;
- b) El origen no sólo queda atrás, sino, continúa. Esta segunda idea encuentra un sólido referente en la raíz griega *phy* que se encuentra en *Physika*, y que designa un origen que prosigue con el tiempo. Esta idea la elabora hermenéuticamente Heidegger leyendo a Aristóteles.

Aquí se encuentra la tesis que queremos proponer y que sugerimos introducir con la idea de la construcción de la evolución y el estudio de la complejidad de la vida y el lugar de la biotecnología. La evolución no simplemente ha

---

<sup>13</sup> Hay que decir que de Rosnay no se encuentran sólo en esta idea. Otros científicos, con formaciones perfectamente distintas, coinciden en una idea similar, desde caminos y con intereses diversos. Notablemente, cabe mencionar a F. Varela (*El fenómeno de la vida*, Santiago de Chile, Dolmen, 2000) y a J. Gribbin (*En el principio... El nacimiento del universo viviente*, Madrid, Alianza, 1994).

acontecido, con todo y, siendo generosos, la idea de una evolución creciente o mejor, una evolución de complejidad creciente. Dado que esta idea no parece ser inmediatamente clara, se hace necesario sumergirnos en el estudio de la complejidad o de la dinámica compleja que establece la relación: sistemas vivos-ciencia-tecnología. Pues bien, es de esta relación, y que encuentra en la biotecnología quizás su expresión más radical, en donde se hace evidente el tipo de complejidad de la nueva forma de vida que está emergiendo. Esta nueva forma de vida implica una sensible y radical transformación del concepto de naturaleza. Más radicalmente, con el nuevo origen de la vida, o con el origen de una nueva forma de vida, asistimos a los albores de una reinención de la naturaleza. El significado cultural de la ciencia-tecnología, y más globalmente, el significado cultural de la investigación y el desarrollo se hacen así claramente visibles, a plena luz del día. La bioética ocupa, por tanto, un lugar destacado en los estudios culturales sobre ciencia, tecnología y sociedad (CTS).

¿Cómo prever, mejor aún, cómo predecir lo que vaya a tener lugar, a propósito de los cambios culturales magníficos posibles gracias a la simbiosis entre biología, mecánica y electrónica? La pregunta no es nada trivial, y en ella van sencillamente las posibilidades de nuestra propia existencia; esto es, justamente, nuestra adaptación –física, emocional, afectiva, psicológica y comportamental- a los procesos en marcha. La dificultad, sin embargo, estriba en que nos la vemos con un fenómeno esencialmente variable, adaptable, dinámico: la vida. Pues bien, el mérito del estudio de los sistemas dinámicos complejos estriba en la lógica, la metodología y la heurística con que trabajan y que constituyen una férrea unidad. “La mejor manera de predecir el futuro, consiste en inventarlo” sostiene de Rosnay (2000: xiii). Esta idea introduce un matiz altamente sensible.

Si a simple vista pareciera haber un espíritu de familiaridad, como efectivamente lo hay, entre los enfoques sistémicos y el estudio de los sistemas de complejidad creciente, existe un rasgo perfectamente demarcador de las especificidades y diferencias entre la teoría general de sistemas y el estudio de la dinámica y complejidad creciente de los sistemas vivos. Según de Rosnay, las cien-

cias de la complejidad reúnen la teoría del caos y la teoría de la autoorganización<sup>14</sup>. Pues bien, las ciencias de la complejidad no simplemente permiten comprender y establecer relaciones –algo que, insistimos, sí es propio del pensamiento sistémico<sup>15</sup>, sino, mejor aún, “suministran medios para *actuar* sobre la complejidad” (de Rosnay, 2000: xiv). El objeto propio de las ciencias de la complejidad consiste en explicar las transiciones de una organización en un nivel dado –inferior- a la organización –superior- en la cual aquella es un componente. La estructura de la complejidad es manifiestamente de orden creciente y jerárquico. Algunos conceptos que contribuyen a explicar estas transiciones son los de *transición de fase* y *posibles adyacentes*. Dígamoslo entonces de manera directa: la bioética forma parte de las ciencias de la complejidad, que son ciencias de la vida.

La evolución no está dada, y tampoco es algo que acontezca sobre nosotros y a pesar nuestro. Ningún evolucionista serio podría plantear algo semejante (y una idea parecida se asemeja más bien a fatalismo; o, en el mejor de los casos a algo semejante al “determinismo estructural” de que habla H. Maturana). Estamos construyendo –incluso sin saberlo- los nuevos estadios de la evolución<sup>16</sup>. Estos nuevos estadios se condensan en la construcción de un superorganismo planetario del cual, nosotros, los seres humanos, somos (apenas) (hoy) las neuronas. Las funciones básicas de este superorganismo pueden indicarse sin dificultad: la economía, la ecología, la educación y la energía. Si pensamos con respecto a la economía en la *nueva economía*, las funciones básicas del superorganismo planetario en emergencia son esencialmente intangibles (como toda función debe serlo, análogamente a lo que enseña la fisiología, por ejemplo,

---

<sup>14</sup> Esto es algo que no es enteramente preciso pero que, en un sentido amplio sí puede ser aceptado.

<sup>15</sup> Del pensamiento sistémico o del pensamiento complejo en la línea de E. Morin y sus seguidores.

<sup>16</sup> La mayoría de la gente contribuye, con su trabajo y su existencia, a la construcción “desde adentro” del nuevo organismo superplanetario que es la vida híbrida. De hecho, no es necesario que la gente sepa lo que está sucediendo, y tanto menos lo es desde el punto de vista de la justificación de lo que está teniendo lugar. Sartre insistió permanentemente en que siempre existimos primero y luego (si acaso, agregamos nosotros) pensamos. La existencia precede y funda a la existencia.

en el caso del organismo humano). De acuerdo con de Rosnay, el nacimiento de la nueva forma de vida contiene tres estadios o momentos: la autoorganización, la coevolución y la simbiosis. Si ello es así, el estudio del fenómeno y origen de la nueva forma de vida requiere una cuidadosa consideración de cada uno de los estadios y lo que en ellos acontece.

El mundo no está dado de una vez y para siempre. El futuro no existe y no está dado ahí, lo separamos o no. La historia no está escrita de una sola vez. Estas y otras expresiones semejantes traducen una idea bastante más profunda: la indeterminación o, lo que es equivalente, el fin de las certidumbres. La incertidumbre o la indeterminación consiste exactamente en eso: en el hecho de que ni las cosas, ni el tiempo, ni el mundo, ni la vida, en fin: nada está dado de una vez y para siempre. Todo depende, en cada paso, de la sensibilidad a las condiciones iniciales y de los posibles adyacentes. El estudio de la complejidad es, literalmente, el estudio de los grados de libertad de un sistema, un fenómeno o un comportamiento. Parodiando a Sartre: podríamos decir: Jamás fuimos tan libres gracias precisamente a las ciencias de la complejidad<sup>17</sup>. Sólo que, en el contexto de los sistemas alejados del equilibrio, esto es, de la termodinámica del no equilibrio, la conciencia de la libertad se corresponde exactamente con la flecha del tiempo. Y a diferencia de los sistemas clásicos, el futuro sí marca una diferencia con respecto al pasado. Pues bien, la aparente amenaza que representa la biotecnología para algunos sectores sociales radica en los grados de incertidumbre que introduce y con los que trabaja. Si no es porque pudiera dar la impresión de una postura cínica, podría incluso argumentarse que la defensa de la biotecnología coincide, plano por plano, con el aprendizaje y la defensa de la incertidumbre. Esto, desde luego, en absoluto implica que las certezas se hayan perdido o vayan a perderse. Más sencillamente: al lado de las

---

<sup>17</sup> Como sabemos, la frase de Sartre es: "Jamás fuimos tan libres como bajo la ocupación alemana", con lo cual el filósofo francés nos mostraba la facticidad y la responsabilidad, mejor aun, la gratuidad y el compromiso de la libertad. Por extensión, podemos decir que gracias a las ciencias de la complejidad sabemos de nuestra libertad: la libertad absoluta, es decir, indeterminada. Otra cosa es que, como ya por ejemplo lo estudiara Spinoza, existan seres humanos que no quieran saber nada de la libertad y estén dispuestos a renunciar a ella.

certezas, hemos comenzado a aprender, además, la incertidumbre. Este aprendizaje se funda de manera precisa con el aprendizaje de lo que son los sistemas alejados del equilibrio, los sistemas vivos, en fin, los sistemas irreversibles.

La vida no es simple y llanamente un acontecimiento biológico, punto – para situarnos, desde luego, en el marco de la ciencia y la filosofía. La vida es, además, e irremisiblemente, un acontecimiento igualmente mecánico y electrónico, a la vez que biológico. La nueva forma de vida es la simbiosis entre la naturaleza, los seres humanos y las máquinas. La calidad de la vida y la dignidad de la vida dependen exactamente de los tipos de relaciones entre esas tres dimensiones.

Pero queda un problema eminentemente político. ¿Cómo puede el resto del mundo participar en la construcción del nuevo organismo en emergencia? Si hay un espacio que se vea directa e inmediatamente interpelado por esta pregunta es lo que genéricamente se denomina como América Latina, o el Tercer Mundo, o más sencillamente, nosotros, aquí y ahora. Es al mismo tiempo el problema fundamental de cómo podemos asumir el destino en nuestras propias manos, o también, el de cómo contribuir y participar en el futuro de la vida. Este es un problema bastante lejos de ser obvio y natural, entre nosotros, para la mayoría de la gente. En este problema asistimos al cruce o a la tensión entre bioética y biopolítica; pero ese ya es otro tema aparte (Maldonado, 2003b).

Es sorprendente que el significado primero de la biotecnología produzca escándalo, a saber: que curar a los enfermos, alimentar a los malnutridos y a los desnutridos, que cuidar el medio ambiente, generara tantas prevenciones.

El tiempo fue descubierto o inventado –según se prefiera-, por obra del siglo XX. Tres momentos diferentes resaltan a la hora de precisar el descubrimiento del tiempo. Cronológicamente, se trata de la filosofía fenomenológica de E. Husserl (1905-07), la teoría general de la relatividad de A. Einstein (1907), y el desarrollo de la termodinámica del no equilibrio por parte de I. Prigogine (1977). Culturalmente hablando, quizás la influencia mayor es, sorpresivamente

la tercera, y ello por una razón puntual, a saber: mientras que la fenomenología permanece como una escuela de pensamiento tan sólo en algunos círculos especializados de filósofos, y la teoría de la relatividad se encuentra todavía bastante lejos de convertirse en una teoría con un amplio y sólido bagaje cultural—algo sobre lo cual se ha insistido ya repetidamente en la historia y la filosofía de la ciencia más recientes—; en contraste, la termodinámica del no equilibrio parece llevar una ventaja cultural sobre las dos otras fuentes del tiempo, por una razón puntual bien precisa. Me refiero al desarrollo de las tecnociencias, esto es, de la ciencia-tecnología, como el elemento más novedoso y sorprendente en el desarrollo de la racionalidad humana. Esto significa que no existen dos cosas: ciencia y tecnología, sino, por el contrario, que ambas conforman una sola y férrea unidad. Esta unidad puede ser llamada como tecno-ciencia, o bien, igualmente, como ciencia-tecnología, y así la hemos empleado aquí<sup>18</sup>.

La ciencia-tecnología constituye la forma más reciente y radical de racionalidad jamás descubierta hasta la fecha. Sin embargo, sorpresivamente, la ciencia-tecnología no es únicamente el desarrollo por parte del ser humano, sino, y éste constituye el rasgo más sobresaliente, se trata de un desarrollo en el que se encuentran *la par* el ser humano, la naturaleza y la propia ciencia-

18

En contraste, la historia tradicional sí puede y debe distinguir dos cosas perfectamente distintas: la ciencia y la técnica, y el desarrollo de la una no se corresponde necesariamente con el de la otra. Por el contrario otra es la situación de la ciencia-tecnología, puesto que el desarrollo de la una es exactamente el mismo desarrollo de la otra, y ello a pesar de que la ciencia es bastante más antigua, comparativamente —cerca de 500 años—, mientras que la tecnología está cumpliendo apenas (por estos días) 60 años de vida. (La tecnología surge, en su dimensión práctica, gracias a los primeros computadores, y más exactamente a partir del ENIAC, desarrollado originalmente en 1946). Así, "tecnología" equivale a "computador", y más exactamente a "lenguajes de programación".

No quisiera aquí dejar de subrayar un rasgo fundamental para distinguir a la técnica de la tecnología. Mientras que la técnica se funda en una cosa —herramienta, útil o aparato—, la tecnología consiste en un proceso. Así, mientras que aquella lleva a cabo, o puede llevar a cabo una enajenación del ser humano, la tecnología produce un encuentro del ser humano consigo mismo gracias al lenguaje de programación, esto es, al proceso mismo que es la tecnología. El concepto que mejor describe a la tecnología (= computador) es el "herramienta conceptual", esto, literalmente, una herramienta que conoce, memoriza, calcula, en fin, piensa. Como lo dirá provocadora pero acertadamente R. Kurzweil, se trata de una herramienta inteligente, y que es espiritual. Pero esto es adelantar mucho todavía.

tecnología. En otras palabras, mientras que todas las otras formas de racionalidad habidas en la historia de la humanidad son claramente el resultado de la evolución natural, y en un momento determinado, de la evolución centrada en el primado de los seres humanos, lo específico de la ciencia-tecnología es que ella es el resultado de las interacciones entre los seres humanos y el propio conocimiento generado por las tecnociencias.

Existen varias líneas de análisis posibles acerca de la ciencia-tecnología. Quisiera aquí concentrarme en dos de ellas. Las razones de esta elección hacen referencia, de manera directa, al marco, más amplio, de las ciencias de la vida, y de su complejidad. En primer lugar, quisiera volver la mirada sobre el sentido mismo de la evolución, un sentido que queda definitiva y radicalmente alterado, respectivamente a la historia misma de la evolución acontecida hasta el surgimiento de la ciencia-tecnología. Tanto el contenido, el significado, las extensiones y las posibilidades, como sus relaciones con su entorno quedan sustancialmente transformadas por la ciencia-tecnología. Este es un proceso reciente que, culturalmente hablando, apenas estamos comenzando a vivenciar y marcará, sin duda alguna, el futuro inmediato y a mediano plazo de la vida, esto es, de los sistemas vivos. El resultado es la emergencia de un ser híbrido entre naturaleza, cultura y artificialidad en el sentido más fuerte de la palabra. Esto ya queda dicho. En segundo término, pero en estrecha relación con el anterior, se trata al mismo tiempo de la razón que se encuentra en la base de la transformación de la evolución, tanto como del fenómeno nuclear de las tecnociencias. Se trata del tiempo: de los ritmos e intensidades temporales. La naturaleza ha introducido desde sí misma, mediante el híbrido mencionado, un orden temporal perfectamente diferente a los conocidos hasta la fecha. De esta suerte, son tres los referentes de las reflexiones presentes: el tiempo, la evolución y la ciencia-tecnología. Tal es el vértigo de la investigación experimental.

La vieja pregunta –que estuvo alimentando a la bioética durante un largo tiempo y aún hoy-, acerca de si todo lo que es técnicamente posible es éticamente deseable se revela hoy como falsa, y por tanto, peligrosa, puesto que contrapone ética y ciencia. El problema más bien reside en reconocer que todo lo que

favorezca la vida es éticamente imperativo y técnicamente deseable. Así, la defensa de la ciencia y la tecnología coincide, sorpresivamente, con posturas éticas claras, y ambas, ética y ciencia-tecnología conducen a, o se derivan de, el cuidado y el posibilitamiento de la vida. Pues bien, si hay un ámbito, una geografía, por así decirlo, en la que ética y ciencia-tecnología confluyan y broten al mismo tiempo es en la bioética. El trabajo en educación, en formación y en investigación en bioética deberá hacia futuro insistir fuertemente en ello como en la especificidad suya, esto es, en su necesidad. En otras palabras, el foco debe desplazarse de la ética y de la ciencia-tecnología, hacia la vida. La radicalidad de la defensa de la vida debe ser un rasgo distintivo de la bioética, en contraste con todas las demás éticas, morales y deontologías alrededor suyo. Esta es mi propia tesis.

¿Podemos queremos más sanos de lo que ya somos? O, ¿es inevitable – fatal, acaso-, que sólo podemos saber de la salud cuando está amenazada y la hemos perdido? Gracias a la biomedicina, así como a la biotecnología, podemos adelantarnos a las enfermedades, y podemos construir nuestra salud. Pero esto no implica, desde luego, abogar por ningún tipo de eugenesia. Ya conocemos las sociedades, las ideologías y las teorías y prácticas que afirman o esconden cualquier tipo de eugenesia. La enfermedad conforma un continuo con la salud, pero no es inevitable que la enfermedad sea sencillamente algo que nos acaezca, y ciertamente no cuando podemos saberla, prevenirla y prepararnos ante ella. Estos temas convocan al tema reciente y sensible de los nuevos conceptos de salud-enfermedad, en los que los enfoques sistémicos son altamente fructíferos y elocuentes. Pero creo que las ciencias de la complejidad también pueden contribuir de manera significativa. Pero ese es tema de otro texto aparte. Como quiera que sea, un hecho es incontestable: nos hemos visto lanzados a la construcción de la evolución. Pero esta es apenas una historia, apasionante, que apenas empieza.

## REFERENCIAS

- ❑ Aldridge, S., (1999). *El hilo de la vida. De los genes a la ingeniería genética*. Madrid: Cambridge University Press.
- ❑ Boden, M., (ed.), (1996). *The Philosophy of Artificial Life*. Oxford University Press.
- ❑ Capra, F., (2003). *Las conexiones ocultas. Implicaciones sociales, medioambientales, económicas y biológicas de una nueva visión del mundo*. Barcelona: Anagrama.
- ❑ De Rosnay, J., (2000). *The Symbiotic Man. A New Understanding of the Organization and a Vision of the Future*. McGrawHill.
- ❑ Dyson, G. B., (1997). *Darwin among the Machines. The Evolution of Global Intelligence*. Cambridge, MA: Perseus Books.
- ❑ Grace, E. S., (1998). *La biotecnología al desnudo. Promesas y realidades*. Barcelona: Anagrama.
- ❑ Hottois, G., (1991). *El paradigma bioético. Una ética para la tecnociencia*. Barcelona: Anthropos.
- ❑ —————, (1999). *Essais de Philosophie, Bioéthique et Biopolitique*. Paris: Vrin.
- ❑ Kurzweil, R., (1999). *La era de las máquinas espirituales*. Madrid: Planeta
- ❑ Langton, Ch., (1996). "Artificial Life", en: Boden, M., (1996), págs. 39-94
- ❑ Maldonado, C.E., (2000). "Lugar y significado de la vida artificial en la bioética y en la ecología", en: Autores varios, *Bioética y medio ambiente*. Bogotá: Universidad El Bosque, págs. 139-167.

- ❑ \_\_\_\_\_, (2003a). “Explicando la sorpresa. Un estudio sobre emergencia y complejidad”, en: Autores varios, *Causalidad o emergencia. Diálogo entre filósofos y científicos*. Bogotá: Universidad de la Sabana (en prensa).
- ❑ \_\_\_\_\_, (2003b). “Tensión entre bioética y biopolítica. A propósito de la biotecnología”, en: Autores varios, *Bioética y biotecnología*. Bogotá: Universidad El Bosque/Academia Nacional de Medicina (en prensa).
- ❑ Rifkin, J., (1999). *El siglo de la biotecnología. El comercio genético y el nacimiento de un mundo feliz*. Barcelona: Crítica/Marcombo.
- ❑ Soberón, F. X., (2002). *La ingeniería genética, la nueva biotecnología y la era genómica*. México: F.C.E.
- ❑ Stewart, I., (1998). *Life's Other Secret. The New Mathematics of the Living World*. John Wiley & Sons, Inc.

# BIOÉTICA, BIOTECNOLOGÍA Y CONCIENCIA SOCIAL

*Juan Mendoza-Vega, M.D.\**

## INTRODUCCIÓN

**E**l Siglo XX, y en especial su segunda mitad, llegó para la Humanidad con enorme incremento en el Conocimiento y en la Tecnología derivada de éste, tal como nunca antes en los milenios de existencia de nuestra especie. El Cosmos, sus estructuras, su posible comienzo y al menos un atisbo de sus leyes; las intimidades de la materia inerte, más allá de los límites del átomo; la materia viva y sus millones de sutilezas, desde los intersticios moleculares de la célula hasta el poderoso misterio de los circuitos neuronales y sus reverberaciones impalpables; de todos esos campos ha llegado y sigue llegando información que, más temprano que tarde, desemboca en nuevos medios para intervenir, aprovechar y casi siempre modificar lo que organizó la Naturaleza, como si en verdad fuéramos sus amos y dueños absolutos.

Pero la reflexión sobre esa realidad al parecer apetecible y positiva, nos lleva sin mayor dificultad a comprender que las actuales capacidades de los Seres Humanos dejaron atrás la indispensable valoración de cuanto puede lograrse con esas capacidades; que podemos hacer mucho pero no siempre

---

\* Médico Neurocirujano, Universidad Nacional de Colombia. Profesor Titular y Catedrático, Facultad de Medicina del Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario, Bogotá. Presidente, Academia Nacional de Medicina. Presidente, Tribunal Nacional de Ética Médica. Expresidente, Federación Latinoamericana de Sociedades de Neurocirugía FLANC. Expresidente, Asociación Colombiana de Periodismo Científico.

estamos seguros de que debemos hacer todo lo que podemos; por consiguiente, que es imperativo e indispensable plantearse una y otra vez las preguntas relativas al "deber ser" y al "deber hacer", con la esperanza de encontrar respuestas que nos permitan seguir este camino de descubrimientos y progresos sin dejarnos deshumanizar, conservando conocimientos, máquinas, aparatos, instrumentos, al servicio del Ser Humano y de su plenitud ontológica.

## **BIOÉTICA Y BIOTECNOLOGÍA**

Como se ha repetido muchas veces, la Bioética surgió en los tres decenios finales del pasado siglo y Milenio como estímulo para el estudio y solución de las dificultades éticas planteadas por el creciente desarrollo de la Ciencia y de la Tecnología. Algunos grupos de estudio y distinguidos especialistas parecen haberla asimilado a una especie de "ética ampliada" de las profesiones relacionadas con la salud humana, tal vez porque en esos terrenos se han obtenido los mayores y más espectaculares desarrollos; es preferible, sin embargo, conservar el enfoque más amplio con el que nació, plantearla como una "obligación de actuar ético con todo lo que nos rodea, viviente o inanimado", para lograr así que sean su objeto de estudio todos los actos humanos en cuanto pueden tener repercusión sobre nuestra especie, sobre cualquiera otro de los seres vivos y sobre el planeta que constituye, al menos por el momento, nuestro único albergue en el espacio galáctico.

En esa línea de pensamiento, es lógico dedicar espacio y tiempo de reflexión bioética a la Biotecnología, entendida como el conjunto de los desarrollos tecnológicos que permiten actuar sobre los seres vivos y ante todo, sobre los seres humanos. Campo amplísimo, por cierto, pues en cuanto a los seres humanos abarca desde antes de la fecundación del óvulo hasta mucho después de terminadas en un individuo y de forma irreversible las funciones que convenimos en llamar "vitales"; en otros terrenos, se encuentran métodos, sustancias, aparatos e instrumentos que obran sobre plantas y animales con los fines más diversos, desde la mejoría en las cosechas o la defensa contra plagas hasta el

incremento en la calidad de la carne, la resistencia a enemigos naturales, la destrucción de cultivos ilícitos y muchos más.

Al actuar sobre la parte inanimada del entorno, el ser humano causa cambios y transformaciones de diversa magnitud pero que pueden calcularse con razonable precisión, gracias a los instrumentos de análisis actualmente disponibles, como las proyecciones y simulaciones por computador. Es factible calcular la velocidad a la que se pierde la capa vegetal por la deforestación de una zona o región, tomando en cuenta lo que en esa región se esté haciendo en el momento del análisis y otros datos pertinentes; puede hacerse también una imagen de lo que espera a determinada cuenca hidrográfica si persiste la destrucción de las especies vegetales alrededor de las fuentes que nutren a sus ríos y arroyos; no hay que esperar meses o años para conocer los resultados físicos de aislar una ciénaga o invadir agresivamente una zona de manglares, si se sabe hacer la proyección adecuada en una pantalla de ordenador.

Cuando se trata de lo que ocurrirá a los seres vivos, en cambio, intervienen los factores de Caos y Complejidad de tal manera que las predicciones se tornan muy inciertas, son apenas probabilidades estadísticas con abundantes zonas oscuras y consecuencias impredecibles en las generaciones por venir. Es pertinente recordar a modo de ejemplo que las verdaderas transformaciones de los mamíferos obtenidos por clonación y de sus descendientes, si aquellos son fértiles, quedan hoy en el espacio de lo desconocido y se irán viendo de veras tan solo cuando trascorra la vida de esos organismos, con el agravante de que lo sucedido en un individuo no siempre traduce con fidelidad la gama entera de las posibilidades y se requerirían centenares o miles de procedimientos exitosos para acercarse al conocimiento completo de esas posibilidades. Las dudas éticas planteadas por la Biotecnología tienen así mayores dificultades, que no admiten para su resolución reglas generales a menos que se las matice con la juiciosa consideración de los aspectos relativos al individuo afectado y a la pequeña comunidad en la que éste desarrolla su existencia.

## ASUNTOS DE TODOS

La referencia a la comunidad en la que se desempeña el individuo es inevitable si se toma en cuenta que el ser humano es, por definición, un “ser social”, que necesita la interacción con sus semejantes para conseguir el pleno desarrollo de esa parte intangible de su existencia que algunas veces llamamos “funciones superiores”, las mismas que le dan el carácter humanizante y permiten distinguirlo de otros seres vivos en el planeta Tierra.

Cuanto afecte a un individuo de la especie afecta en cierto modo, así sea en proporciones muy distintas, a todos los demás desde el círculo íntimo de sus parientes y amigos más cercanos. Las reflexiones de la Bioética, por regla general, no pueden limitarse a considerar casos aislados sino deben mirar hacia la *comunitas*, porque en ella se expresarán inevitablemente muchas de las consecuencias de acciones individuales y, por supuesto, de las aplicaciones tecnológicas sobre cualquiera de los seres vivos.

En la interacción social, es de fundamental importancia el respeto a la dignidad y los derechos del “otro”, de “los otros” y de la sociedad que entre todos forman; el concepto de autonomía se aplica tanto a las personas como a las comunidades y la justicia tiene también, reconocido desde al menos dos siglos atrás, el componente de justicia social.

Basta lo anterior para sostener que cualquier examen bioético sobre la biotecnología necesita un componente de análisis social que a su vez tenga dos vertientes: de un lado, el estudio de las consecuencias sabidas o posibles sobre la comunidad y del otro, la participación de esa comunidad en las resoluciones que deban tomarse de acuerdo con dicho estudio.

Tal participación exige a su vez que la comunidad reciba la información adecuada, es decir, oportuna, completa, clara, sin sesgos intencionados y presentada en lenguaje comprensible para la mayoría, en el cual los términos técnicos sean explicados de modo que no se traicione la verdad científica pero

tampoco se la mantenga semioculta tras las cortinas de las palabras y locuciones especializadas. Al hablar del consentimiento informado frente a los actos médicos, se dice que no puede darlo quien no recibe antes un acervo suficiente y comprensible de las realidades y posibilidades sobre las cuales debe consentir; el concepto es plenamente aplicable a la búsqueda de respuestas comunitarias sobre un tema o asunto que es literalmente “de todos” porque a todos interesan sus desarrollos y efectos.

## COMUNICACIÓN Y “APROPIACIÓN SOCIAL”

En el lenguaje que usan desde finales del Siglo XX los funcionarios del Estado y de muchas corporaciones, se habla de “apropiación social” para referirse al hecho de que un conglomerado humano entienda determinado asunto hasta el punto de poder deliberar y tomar sobre él decisiones lógicas y congruentes con la realidad y con las verdaderas conveniencias del grupo que decide.

La comunicación toma entonces sitio de trascendencia, pues con ella se entregan los datos, la información, esenciales para el proceso. En el caso de la Ciencia y la Tecnología, esa comunicación presenta exigencias especiales por la calidad y complejidad de lo que debe comunicarse, por las grandes diferencias entre el lenguaje de quienes producen los conocimientos y sus aplicaciones y el de las gentes del común a las cuales se desea hacerlos accesibles, así como por la desconfianza que suele existir entre los científicos respecto de los comunicadores sociales y la dificultad que ello genera en la consecución de datos para originar una comunicación adecuada.

Pero la comunicación no tiene solamente esa capacidad informativa, de distribución de datos o conocimientos en determinado entorno social; por el contrario, a ella se le reconocen otras dos funciones de relevancia aún mayor, la función educativa y la de movilización. En efecto, la comunicación distribuye en la sociedad información que ayuda a comprender la realidad, a llevar el

interés público hacia determinados temas, a proveer elementos culturales con los cuales los interlocutores pueden pasar de la información a la formación, y el uso juicioso de ese conjunto puede incitar a la acción, a la participación de la sociedad en la gestión de aquello que le atañe e interesa.

Según las más recientes teorías de la comunicación, ésta no resulta exitosa mientras no se parta del conocimiento de las condiciones culturales de quienes la recibirán, pero también se planea como proceso activamente participativo, en forma que se establezca un diálogo verdadero que genere el deseado impacto; es evidente que no se trata de un proceso vertical en el cual un “poseedor de la verdad” la divulga e impone con su autoridad, sino de un intercambio razonable y argumentado cuya base debe obtenerse previamente mediante las herramientas de la “Investigación de Conocimientos, Actitudes y Prácticas” (CAP) para poder buscar influencia sobre esas tres facetas constituyentes del complejo comportamiento humano, como lo planteó ya en 1969 el investigador Albert Bandura. Al planear las estrategias de comunicación encaminadas a la “apropiación social” de la ciencia y la tecnología, urge tener en cuenta que la modificación de conocimientos, actitudes y prácticas no puede tratarse como una operación lineal matemática en la cual la suma de factores garantiza un producto, sino como una interacción muy compleja de expresiones culturales que deben ser investigadas a fondo y reconocidas para poder plantear una interlocución significativa, que llegue a los sujetos “receptores” con la calidad suficiente para integrarse a sus CAP y modificar el comportamiento respectivo, no dando instrucciones precisas ni enseñando fórmulas sino atrayendo hacia los nuevos comportamientos a personas que son libres, racionales, a las que deben presentarse argumentos lógicos no autoritarios.

## **CONCIENCIA SOCIAL, OBLIGACIÓN BIOÉTICA**

Quedó señalado atrás que los conceptos básicos de la Bioética, como el respeto a la dignidad del “otro”, a su autonomía y sus derechos, son aplicables no solo en la escala individual sino en la social; las comunidades humanas son

sujetos indiscutibles de esos derechos, respetar su autonomía es obligación bioética ineludible pero el cumplimiento de tal deber exige que ellas reciban los medios para poder ejercer el derecho que se les reconoce.

No bastan aquí, cuando se trata de la biotecnología y de sus consecuencias, las acciones encaminadas a poner al alcance de los conglomerados humanos informaciones fuera de contexto y a veces difíciles de entender por los términos en que se presentan; por el contrario, el deber bioético pide que se facilite por todos los medios posibles el conocimiento reflexivo de las cuestiones concretas en forma tal, que la sociedad pueda analizarlas con adecuada profundidad y esté luego en condiciones de impulsarse a obrar bien, con rectitud y consideración humanitaria.

Ese conocimiento reflexivo es la "conciencia social". Su base necesaria es la comunicación, que divulgue ampliamente, con seriedad, oportunidad, en lenguaje comprensible y adjuntando a los datos desnudos aquellos comentarios o informaciones complementarias que les den contexto, cada uno de los temas de biotecnología que vayan siendo pertinentes para la comunidad.

La intervención de profesionales de la comunicación que se especialicen en periodismo científico y divulgación de la ciencia y la tecnología es, sin duda, indispensable en estas labores. En efecto, ellos tienen el adecuado manejo del lenguaje corriente que para los científicos y tecnólogos suele causar dificultades por la reiterada costumbre de hablar y escribir en la forma más "científica" posible; pueden también colaborar con su personal raciocinio al análisis de cada noticia, aunque siempre se advierte que tales opiniones deben presentarse claramente separadas de lo que es el contenido noticioso, para no inducir a error ni crear conflictos de intereses.

La comunicación, instrumento para la formación de conciencia social sobre la ciencia, la tecnología y sus implicaciones y consecuencias en la sociedad, toma así lugar preponderante entre las profesiones del Siglo XXI.

## NOTICYT, UN EJEMPLO COLOMBIANO

En lo que va corrido del presente año 2003, se viene desarrollando en Colombia un proyecto que puede verse como ejemplo de lo que es posible llevar a cabo en el campo de la comunicación de ciencia y tecnología: la Agencia de Noticias Noticyt, organizada conjuntamente por la Asociación Colombiana de Periodismo Científico y la Academia Nacional de Medicina, con el apoyo intelectual y financiero de Conciencias.

Cada semana, desde el mes de febrero, se distribuye a todos los medios masivos de comunicación en el país y a varios de otras naciones latinoamericanas, un boletín que contiene cuatro o cinco noticias sobre la actividad de científicos, investigadores e inventores colombianos en todos los campos, no solamente en los de medicina y salud. Las noticias, cuidadosamente recogidas en sus fuentes, se presentan primero a un comité de redacción que se reúne cada dos semanas y está conformado por seis representantes de las tres entidades involucradas, quienes escuchan los datos disponibles y consideran la seriedad del asunto, para autorizar su inclusión en uno de los boletines. El mismo comité recibe la información sobre las publicaciones que de tales boletines hayan aparecido en prensa escrita, radio o televisión, para valorar los resultados del proyecto.

En el informe de la primera fase del proyecto, puede verse que se distribuyeron 106 notas y aparecieron ellas en 123 ocasiones. Periódicos como *El Tiempo*, *Portafolio* y *El Espectador*, de Bogotá; *Diario del Sur*, de Pasto; *El País* y *Occidente*, de Cali; *El Colombiano*, de Medellín; *El Herald*o, de Barranquilla; *Diario del Huila*, de Neiva; *Vanguardia Liberal*, de Bucaramanga; *La Tarde*, de Pereira; *El Nuevo Día*, de Ibagué y *El Universal*, de Cartagena, acogieron con regularidad esa información y la destacaron, algunos de ellos (*Diario del Sur*, *Occidente*, *El Universal*) abriendo página semanal especializada con tales materiales. Dieciséis portales de Internet y algunas radiodifusoras han incluido también notas de los boletines.

Cada noticia aprobada para inclusión en un boletín, redactada por un periodista profesional con especialización en periodismo científico o por un estudiante-pasante de periodismo –y en este caso, revisada luego por uno de los periodistas responsables del proyecto- se presenta en lenguaje tan poco especializado como es posible; los términos científicos indispensables se explican en el mismo párrafo donde aparecen y la nota, si parece necesario, se consulta con la fuente de la noticia o con uno de los científicos responsables del proyecto; la extensión promedio acostumbrada es de 50 líneas, unas 500 palabras, pero a petición de algunos de los medios se han producido artículos más largos y exclusivos.

Aún es temprano para intentar valoración confiable del impacto social conseguido; sin embargo, las periodistas Lisbeth Fog, directora, y Mara Bruges, jefe de redacción, los médicos Juan Mendoza-Vega y Germán Peña Quiñones, representantes de la Academia Nacional de Medicina y los representantes de Colciencias, Angela Bonilla y Mauricio Velosa, consideran muy positivos todos los datos recogidos y han aprobado continuar la segunda etapa del proyecto a partir de Julio de 2003, siempre que Colciencias asigne las nuevas partidas indispensables.

## BIBLIOGRAFÍA

- ❑ Bandura A. “Principles of Behavior Modification” (1969) y “Social Learning Theory” (1977), citados en Mincomunicaciones y Minsalud (1999).
- ❑ Mendoza-Vega J. “Humanidad, salud y comunicaciones” en “Por una medicina más humana”, Plata Rueda E., Leal Quevedo F., Mendoza-Vega J. editores, Editorial Médica Panamericana, Bogotá 1997.
- ❑ Mendoza-Vega J. “La comunicación y la calidad en el ejercicio de la Medicina”, en “Antología de los Valores y del Crecimiento Humano”, Hospital Pablo Tobón Uribe edit., Medellín 1998.

- ❑ Ministerio de Comunicaciones y Ministerio de Salud, Colombia. "Comunicación para la Salud, lineamientos generales" Imprenta Nacional, Bogotá, 1999.
- ❑ OMS "Carta de Ottawa" 1986.
- ❑ Reiner H. "Vieja y nueva Ética" Revista de Occidente, Madrid, 1964.

# UNA APROXIMACIÓN FILOSÓFICA A LOS CONCEPTOS DE CIENCIA Y NATURALEZA

*Rosalba Durán Forero\**

## INTRODUCCIÓN

Buena parte de la filosofía, tanto en occidente como en oriente ha girado su trabajo alrededor de los conceptos de naturaleza y ciencia. Y su idea particular sobre las mismas ha primado como “objetiva”, científica, valedera, que equivale a ser considerada como única e indubitable.

La filosofía griega, por ejemplo, se inició alrededor de los temas de la física y de la ética. ¿Cuál es el origen del cosmos y quien es el “hombre”, quienes somos y de donde venimos? Fueron la preguntas iniciales de la humanidad para, paso seguido, plantearse los temas de la política, la lógica y la metafísica. De tal manera que en la historia de las ideas, sólo se compara este comienzo de la filosofía con la irrupción de la modernidad.

Modernidad que significó el triunfo total de una visión de la naturaleza, desde y en la cual “el hombre”<sup>1</sup> se considera superior, artífice y hacedor de la misma. La naturaleza pasó a ser considerada un “ente” exterior al mismo hombre. La ciencia: el estudio objetivo de esa realidad. Las matemáticas: el lenguaje de la naturaleza, un lenguaje que significa precisión y que proporciona la

---

\* Doctora en Filosofía Universidad de Barcelona- España. Profesora Instituto de filosofía Universidad de Antioquia.

<sup>1</sup> Porque en efecto, el común de filósofos, de científicos y personas en general, (hombres y mujeres) cuando hablan del hombre, aun cuando pretendan usarlo como vocablo neutro, no están incluyendo a los individuos xx de la especie.

certeza sobre las leyes descubiertas. El método experimental: la máxima culminación de la manipulación, y del sometimiento de la naturaleza, cuya etapa culminante puede ser sin mayores dudas, la actual era tecnocientífica.

La sobrevaloración de la tecnociencia, no es ajena a esta tendencia, y por el contrario, se puede afirmar que es la “lógica culminación” de este proceso de siglos de acumulación de unos saberes y de unas concepciones sobre la naturaleza. Sin embargo, vale el cuestionamiento a esta forma de ver y hacer la ciencia ¿Hay razones para considerarla como la única válida y posible? ¿Se puede, no solamente hablar, sino construir otra idea sobre la ciencia ¿Podemos pensar y relacionarnos con y en la naturaleza de un modo mas afín con los postulados éticos, que desde la bioética venimos construyendo? Desde la filosofía y la bioética caben éstas y mas preguntas: ¿podemos considerar esta culminación de la tecnociencia como la máxima aspiración humana? ¿cabe un replanteamiento del qué, el cómo y el para qué del desarrollo tecnocientífico? ¿la actual ruta escogida es la que puede cumplir con la aspiración del cuidado responsable de la naturaleza, tal como nos lo reclamaran pensadores como Potter y Jonas? ¿Existe sólo esta visión de la naturaleza y de la ciencia? ¿es posible construir una ciencia sucesora que supere el déficit de todo orden que nos ofrece la actual visión tecnocientífica?

La intención de esta comunicación es, además de hacer estos cuestionamientos, intentar si no una respuesta acabada, si propiciar un motivo para el debate, la reflexión y el ulterior replanteamiento del hacer tecnocientífico.

## **1. SOBRE LAS DIVERSAS CONSTRUCCIONES DE LA NATURALEZA Y DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO**

La historia de las ciencias y la historia del pensamiento filosófico, es la historia entrecruzada de estas dos actividades humanas y como toda historia, no ha sido la historia de una relaciones armónicas. Los problemas básicos de la comprensión de la vida, su origen y su evolución han estado presente en diversos autores filosóficos y a su vez, el conocimiento objetivo que desde el estudio de la naturaleza y de la ciencia se ha producido, se han constituido en aportes

para la filosofía. Se puede afirmar que cada una de las concepciones elaboradas por la inteligencia humana sobre las cosas y en este caso particular, sobre la naturaleza y su estudio, son creaciones del pensamiento, creaciones en las cuáles se expresan estas formas particulares de “ver” y “entender” el mundo.

El filósofo español Juan Arana apunta hablando de la biología, una aserción que bien cabe para todas las ciencias naturales. “...la filosofía no ha seguido un modelo uniforme en su trayectoria histórica, ni existen tipificaciones válidas para decirnos con qué actitud deben abordar los filósofos las cuestiones que investigan. Algunos de ellos los mas sobresalientes de cada momento histórico, han sentido la fascinación del mundo de la vida; se han acercado a él con curiosidad y respeto; lo han tematizado sin caer en esquematismos ni prejuicios; han adelantado ideas que luego se han utilizado con provecho, y también han sabido recibir las enseñanzas que estos ( conocimientos) podían impartirles” (Arana.1998- 9).

Para intentar responder a los cuestionamientos inicialmente planteados voy a valerme de dos autores contemporáneos, apoyada en la lectura y relectura de los clásicos de la filosofía y de la ciencia, pero también en las nuevas lecturas de mujeres científicas quienes desde una perspectiva, feminista, nos conducen a repensar la relación naturaleza-ciencia en otros términos. Revisaré en un primer momento las principales tendencias sobre el concepto de ciencia y naturaleza y dentro de estas visiones, la postura feminista, para en segundo término acercarnos a la idea de “una ciencia sucesora” y de una relación mas amorosa, en palabras de Humberto Maturana en este mismo auditorio hace algunos años, sobre la naturaleza y la ciencia.

### **1.1. Principales tendencias sobre el concepto de ciencia y naturaleza**

Dos autores cercanos a nuestra cultura y contemporáneos Luc Ferry y Alfredo Marcos<sup>2</sup> hacen una revisión de las distintas visiones que sobre la natu-

---

<sup>2</sup> Ferry, Luc *Nuevo Orden ecológico*. Tusquets Editores. Barcelona 1994. Marcos, Alfredo “Ética Ambiental”. *Universitas Philosophica* 33 .Bogotá. Colombia Diciembre de 1999. pp. 31 a 57.

raleza ha producido el pensamiento humano. Estas apreciaciones bastante similares en su contenido, nos sirven de punto de partida para este acercamiento a los conceptos de ciencia y de naturaleza. Si bien ambos autores se concentran en las consideraciones filosóficas sobre la naturaleza y menos en el aspecto del desarrollo científico que le es colateral.

## **1.2 El antropocentrismo**

Esta visión, mal llamada por Ferry “humanista” ha proclamado el primado absoluto del “hombre” sobre la naturaleza y su derecho de dominación sobre la misma. Ha negado cualquier carácter moral a la relación especie humana-naturaleza, mientras que el humanismo para Alfredo Marcos está fundado sobre la idea de un cuidado responsable de la naturaleza, que no excluye su utilización para el bienestar de los humanos. Con frecuencia se critica al humanismo, atribuyéndole injustamente ideas que sólo defiende el antropocentrismo, tal como lo hace Ferry.

Esta visión antropocéntrica ha considerado a lo largo de la historia, a la naturaleza como vasalla de la humanidad. La definición aristotélica del hombre como animal racional, enfatizando todo aquello que asienta la racionalidad, es su punto de partida. El hombre se ha hecho hombre en la medida que se ha distanciado de la Naturaleza, la ha domesticado creando la cultura, mientras que la parte instintiva biológica, ha quedado relegada a la animalidad, a la irracionalidad y a ese estado bárbaro de la condición humana que tanto desde el punto de vista ontológico como filogenético hay que superar.

Desde esta perspectiva, el hombre no se considera parte y elemento constitutivo de la naturaleza, se ha considerado “lo otro”, la parte racional, agente de su transformación mediante la acción deliberada. Entendida así la naturaleza, ésta se encuentra a su servicio Y el único valor que ésta tiene es de carácter económico, para satisfacer las necesidades humanas, con el dominio de la misma por medio de la técnica y la confianza en que esta última, es solución para cualquier problema ambiental.

Este antropocentrismo ha predominado tanto en la idea de las ciencias naturales como en la explotación de la naturaleza y de los objetivos teórico-prácticos de la tecnociencia, como guía práctica para la producción agropecuaria, e industrial. Enfatizando el carácter instrumental sobre la naturaleza, la ciencia y su técnica puestas al servicio del hombre. El actual desarrollo tecnocientífico, la aplicación de los últimos adelantos de la ciencia tanto en la genética, como en la industria armamentista, son expresión de este afán de dominar la naturaleza por medio del conocimiento y de la técnica para otros fines diferentes al bienestar integral de la especie humana y con ella la del ecosistema en el que vivimos.

### **1.3 Biocentrismo y Ecocentrismo**

A los interrogantes ¿Podemos pensar y relacionarnos con y en la naturaleza de un modo mas afín con otros postulados éticos, donde el hombre no sea el centro de la naturaleza? ¿Hay razones para considerar esta visión antropocéntrica como la única válida y posible? el Biocentrismo y el Ecocentrismo responden si y no de una forma tajante.

La depauperación de la naturaleza por la actividad depredadora del hombre, la extinción de especies animales y vegetales que desde los siglos XV y XVI se agudizó con el descubrimiento por parte de los europeos de otras tierras ricas en especies vegetales y animales casi mitológicos, conllevaron a una paulatina asunción de poner fin a este exterminio indiscriminado. Surgen el Biocentrismo y el ecocentrismo tímidamente primero, y posteriormente asumiendo posiciones ultrarradicales, sobre la relación del hombre con la naturaleza, pero que no han afectado de manera evidente el modo de hacer la ciencia.

Estas dos corrientes se caracterizan por considerar como objetos morales, a todos los seres vivos. Todos los seres "sintientes" son objeto de responsabilidad moral por parte de la humanidad. Siendo unánimes en su crítica al antropocentrismo y al la sojuzgamiento que en nombre del progreso humano se ha hecho contra todo ser viviente.

Los biocentristas proponen una reforma radical de la ética, un pensamiento integral que afronte todos los problemas ambientales, incluyendo una nueva idea de lo que es la “buena vida”. Este objetivo obliga a ir a “un territorio mas allá de la ética, convirtiéndose en algo más que en una ética ambiental, en una nueva filosofía ambiental que comprende una metafísica, una epistemología, una estética y una filosofía política” (Marcos, 1999-31).

Las principales tesis del Biocentrismo son: Desarrollar una filosofía desde la que se reconozca el valor intrínseco de las entidades naturales vivas, y no se les considere solo como valores instrumentales. Al hablar de valores y no de derechos desde el Biocentrismo se está reconociendo que la “consideración moral de los vivientes es expresa como una actitud de respeto y reverencia por la vida y de los deberes que en este sentido tenemos los humanos. No se habla de derechos, sino de valores. Se puede negar que los vivientes no humanos tengan derechos y aún así reconocer que tenemos Obligaciones y deberes frente a ellos. Los derechos son considerados como intereses que han tenido un reconocimiento legítimo dentro de un sistema de reglas capaz de resolver los conflictos entre derechos que se oponen (113). Para solucionar los problemas ambientales no es imprescindible reconocer dudosos derechos a todos los vivientes, sino que es suficiente disponer de un deber de respeto por parte del hombre.

El Biocentrismo se opone a la idea de una supuesta superioridad del ser humano, (léase hombre occidental, blanco, propietario). El centro de la moral debe ser la vida misma, el respeto y reverencia hacia ella y no hombre, que es uno mas entre los vivientes. El Biocentrismo niega cualquier gradualidad en cuanto a la importancia de los seres vivos. Si no es mas importante el ser humano, tampoco lo son los vivientes o los animales superiores. P. W Taylor propone la distinción entre intereses básicos y no básicos. Cuando los intereses son compatibles se deben atender causando el menor mal posible a todas las partes (tanto humanos como no humanos) y de modo justo (cargas y beneficios deben distribuirse imparcialmente sin discriminar en función de la condición humana). Esta guía para la resolución de conflictos se manifiesta entonces en:

Autodefensa proporcionalidad, mal menor, justicia distributiva y justicia retributiva. (13)

Por su parte el ecocentrismo (13) se distancia del Biocentrismo por considerarlo limitado e individualista. El ecocentrismo es algo más que una teoría ética, “constituye una filosofía ambiental con una metafísica que habla de un estatus ontológico de las especies, de los ecosistemas, de los procesos y relaciones que se dan en la naturaleza; una epistemología que tiene que afrontar el tránsito de lo descriptivo a lo normativo, ya que una ética basada en una ciencia como la ecología tiene que superar la falacia naturalista; una estética que contribuya al reconocimiento del valor intrínseco de ciertas entidades naturales; una filosofía política que discuta la legitimidad de las actuaciones a favor de las entidades naturales. Es en palabras de Marcos una refundación filosófica de nuestra cultura. (14)

Dentro de esta corriente se destaca

- La influencia de Aldo Leopold (1887-1948 *Una ética de la tierra*), uno de los fundadores de la ecología. La *Ética de la tierra* constituyó una crítica a los antropocentrismos, al optimismo tecnológico ingenuo, a los valores materialistas de una sociedad volcada en el consumo, inconsciente de los límites. Sin embargo estas tesis de Leopold no han sido matizadas y seguidores reconocidos como Baird Callicot en su obra temprana caracterizada por su crudo totalitarismo citaba con aprobación a Edward Abbey, para quien los vehículos de rescate no deberían entrar a una reserva natural aunque hubiese un humano en peligro y con Garret Hardin quien consideraba que es menos malo disparar a un hombre que a una serpiente (18).
- La ecología profunda (*Deep Ecology*) que es al mismo tiempo un movimiento filosófico y una forma de activismo político. Parten de la denuncia de la “crisis ecológica continua” de las sociedades “tecnocráticas- industriales. Los problemas ambientales son una “crisis de carácter y de cultura”. Y por tanto los remedios deben tener la misma profundidad de los males existentes. Todo lo que no llegue hasta allí serán posiciones blandas (*Soft Ecology*) (18).

Estos cambios culturales profundos deben empezar por una reforma de la metafísica individualista dominante. Se ha de poner de manifiesto las profundas relaciones entre todas las partes de la naturaleza, hasta el punto de reconocer que el ser humano y su ambiente no se pueden trazar fronteras definidas, ambos son la misma entidad contempladas desde dos puntos de vista. La prioridad ontológica la tienen las relaciones entre elementos más que elementos considerados en sí mismos, pues la naturaleza de las partes está determinada por las relaciones con el todo. (Fox, Sessions, Devall, Nass) (20).

La ecología Profunda quiere obtener de la ciencia ecológica una inspiración de carácter general para la vida y la cultura. Aspira a reconstruir un sistema de valores apto no solo para la gestión ambiental, sino también para la investigación científica y la aplicación de tecnologías, para la política la cultura, el derecho y la vida, incluida también la humana (20), proyecto que todavía no ha tomado cuerpo. Pero, la “ecología profunda” defiende posturas tan dispares” como las siguientes:

1. El bienestar de la vida humana y no humana son valores inherentes en sí mismos. Con independencia de su valor instrumental es decir, independientes de la utilidad del mundo no humano, para el fin de los “hombres”.
2. La riqueza y diversidad de las formas de vida contribuyen a la realización de estos valores y son valores en sí mismos.
3. Los humanos no tenemos derecho a reducir la riqueza y diversidad de las formas de vida salvo por necesidades vitales.
4. La intervención humana en el mundo no humano es actualmente excesiva y la naturaleza se degrada rápidamente.
5. El florecimiento de la vida y de la cultura humana es compatible con una reducción substancial de la especie humana.
6. Para que mejoren las condiciones de la calidad de vida se requieren cambios políticos que afecten a las estructuras económicas, tecnológicas e ideológicas básicas.
7. Estos cambios ideológicos llevarán a valorizar la calidad de vida más que en tratar de conseguir un nivel de vida más alto. producir una conciencia para distinguir la diferencia entre gordo( big)-grande (great).

8. Quienes suscriben estos aspectos tienen la obligación directa o indirecta de obrar para producir estos cambios. Ferry.1994.118) (Marcos ,1999-21).

Ferry por su parte, al plantear estos mismos asuntos los incluye dentro de la visión radical de la Naturaleza y distingue no solamente una "Deep Ecology", de una "soft ecology", una ecología profunda de una blanda, sino que las categoriza también como de izquierda y de derecha (Ferry.1994-29).

Así para él la visión "radical" se expresa en los movimientos "alternativos" de Alemania y Estados Unidos. Se caracteriza por una revisión crítica del antropocentrismo, reclama derechos para los animales y los vegetales. Ya no es el "hombre" el centro del mundo a quien se ha de proteger en primer lugar hay que defender el cosmos del "hombre" mismo.

Ferry apunta igualmente, que esta visión radical es una de las tendencias que aglutina mas "militantes", pero llama la atención no solamente en distinguir la ecología profunda" o ecocéntrica de la ecología superficial o medio ambientalista y que la "biosfera tiene un valor superior a la especie humana y hay que oponerla a la ecología "superficial" o "medio ambientalista", sino que señala cómo esta visión radical formula las críticas mas negativas, la ruptura mas radical en nombre de la "nostalgia" o de la esperanza".La nostalgia romántica de un pasado de una identidad nacional escarameada por la cultura del desarraigo. Y la esperanza "revolucionaria" en un porvenir radiante una sociedad sin clases. (Ferry. 30-31). Para Ferry estas dos críticas radicales comparten la misma desconfianza ante la democracia formal, la misma repugnancia hacia el "mercado" la misma crítica a la modernidad converge tanto en los temas tradicionales de la "extrema derecha" como de la "extrema izquierda". Comparten la crítica a cualquier forma de cultura humanística, hacia la herencia de la ilustración. Elogian la diversidad, singularidad, particularidad de lo "local" "versión izquierdista". La "identidad" nacional, tradicional, lo autóctono, "versión derechista (32).

Volviendo a Marcos, éste hace una especial mención a la ecología social representada por la obra de Murria Bookchin, quien discrepa con la Deep

Ecology señalando que es en las sociedades muy jerarquizadas donde más se tiende abusar de los recursos naturales y a dañar el entorno (Marcos, 25). Las ideas de Bookchin se diferencian de las del marxismo en el hecho de que estas formas de dominio no tienen exclusivamente base económica. En una sociedad sin estado se puede dar jerarquías en las cuales el “superior” domine al “inferior”: dominio de un grupo étnico sobre otros: hombres sobre las mujeres; mayores sobre jóvenes o viceversa; urbano sobre el rural; mente sobre el cuerpo o la racionalidad instrumental sobre el espíritu (26).

La ecología social propugna por cambios en la forma de vida hacia comunidades pequeñas y autosuficientes, ecológicamente sostenibles, supuestamente más democráticas, en las que los individuos serían más libres. La agricultura sostenible sería uno de sus pilares. A partir de esta nueva forma de vida se tendría una mejor relación con la naturaleza. Las relaciones entre individuos no sería de dominación sino de cooperación. Y serían tomadas por las personas directamente afectadas. Pero al mismo tiempo que Bookchin señala que “hay déficit democrático cuando el grupo de los que toman las decisiones y el de los afectados no tienen los mismos miembros. Propone superar este déficit democrático mediante la reducción de los afectados por las decisiones, en lugar de ampliar la base del grupo de quienes deciden (27).

A pesar de lo atractivas que puedan parecer las tesis de la ecología social se puede señalar sobre ella

- Su carácter utópico.
- No señala claramente cuál sería la relación entre la dominación social y natural.
- La libertad de los individuos en las comunidades pequeñas no está garantizada.
- Hay que superar el déficit democrático de una forma inversa a la propuesta por Bookchin: intentar ampliar la base legitimadora de las decisiones.

Tanto Alfredo Marcos como Luc Ferry incluyen dentro de la corriente bio-centrista y/o eco centrista al ecofeminismo. Sin embargo, en aras a la argumen-

tación e intención que persigo con este ensayo consideraré al ecofeminismo y la idea de una ciencia sucesora, como la construcción de una respuesta distinta a los interrogantes inicialmente planteados, asunto que desarrollaré en la última parte de este ensayo.

#### **1.4 Visión “Democrática o del “humanismo verdadero”<sup>3</sup>**

Su punto de partida es el reconocimiento de que la ética ambiental debe ser, cuando menos ética. El único ser con capacidad moral es el ser humano. Pareciera ser que solo los humanos nos preguntamos sobre la bondad o no de nuestros actos, y sólo nosotros poseemos una capacidad de raciocinio, un mundo emocional lo suficientemente matizado, con una idea de libertad y de decisión que hace posible que nos concibamos como seres morales.

En el campo de la Bioética y de la ética ambientalista quien mas ha impulsado este carácter es el pensador Hans Jonas, quien plantea que una vida propiamente humana es aquella en la que alguien se puede atribuir deberes morales. No se puede entonces lograr el reconocimiento de los valores de los seres naturales a costa de rebajar la importancia al ser humano. Cuando se tiene una visión naturalizada de los humanos se pone en peligro la autonomía moral.

Cuando se intenta esta visión naturalizada, biologicista, nos inclinamos a aceptarnos como un producto sometido a fuerzas y avatares naturales, sometidos como los demás seres vivientes a una sobredeterminación. Esta visión pervierte la esencia de lo moral, y si el antropocentrismo es un riesgo para la ética ambiental, porque es ciego al valor de los seres naturales, el antiantropocentrismo es un peligro para la ética ambiental, porque es ciego a la especificidad del ser humano. Una posición ecologista y humanista admite que no se gana nada para la naturaleza degradando la importancia del ser humano y que nada se pierde para el ser humano reconociendo el valor intrínseco de los demás seres vivientes. No

---

<sup>3</sup> Con este subtítulo señalaré la tercera clasificación la del Humanismo, así llamada por Alfredo Marcos, que coinciden con los contenidos esenciales de la “visión democrática” elaborados por Ferry.

hay contradicción entre el reconocimiento del valor superior de la familia humana y el respeto hacia los demás seres de la naturaleza. El humanismo está fundado sobre una idea de un cuidado de la naturaleza, que no excluye su utilización para la buena vida de los seres humanos y admite que las relaciones de la especie humana con los otros seres, tiene un carácter moral (Marcos, 35).

Marcos incluye dentro de la visión humanista a las tesis utilitaristas. Mientras que Luc Ferry considera al utilitarismo como una corriente independiente. (Ferry 67-73) Sin embargo las dos posiciones reparan el tradicional error que en el sentido común se tiene sobre el utilitarismo, al considerar que éste sólo está referido a una idea de ganancia y de lucro exclusivamente material.

Ambos autores reconocen que para alcanzar desde el utilitarismo el máximo de felicidad posible para el mayor número de personas, no sólo hay que velar por el propio interés humano, sino que es menester disminuir al máximo la totalidad de los sufrimientos en el mundo, aumentando todo lo posible la cantidad de bienestar. Desde esta visión toda la naturaleza, incluidos los animales son objeto de la preocupación moral. en igualdad de condiciones con la especie humana.

Marcos distingue el utilitarismo biocentrista expresado en las tesis de Peter Singer, de un utilitarismo humanista representado en la obra de John Passmore Y H.J. Mac Kloskey (*Man's Responsibility for nature: ecological problems and Western Traditions*. 1974). En estos últimos autores todos nuestros deberes morales están basados en los deberes que tenemos los unos para con los otros como seres humanos. Estos deberes incluyen la promoción del bienestar para los demás, para lograrlo es importante una naturaleza en uso y en buen estado. Se ataca la posesión de los bienes materiales, pues aunque con ellos se consigue un bienestar inmediato, seguramente se puede estar afectando los intereses futuros de la humanidad y del planeta. Tenemos el deber de conservar los recursos naturales para las próximas generaciones. (Marcos, 36). La fundamentación racional de estos deberes morales para con nuestra descendencia no es tarea fácil, si no se rompe con los dogmas metafísicos de la modernidad. Si

no se supera la visión instrumentalista de la naturaleza y de la ciencia, expresada en las tesis de Jonas (38).

Otros autores como Norton, “Why preserve Natural Variety” reconocen otros valores a la Naturaleza distintos al exclusivamente económico. La naturaleza proporciona también un disfrute de carácter estético, simbólico, psicológico, espiritual. Distingue entre preferencias sentidas (*felt preferences*) y preferencias consideradas (*considered preferences*). Las segundas son fruto de la reflexión, de una visión ilustrada del mundo y no solo puro sentimiento. Para Norton este reconocimiento bastaría para que el uso de la Naturaleza fuese mas racional y evitar el abuso insostenible que se hace de la misma (37).

Cómo explicaba al iniciar este aparte, hay una gran coincidencia<sup>4</sup> entre las tesis de la visión llamada humanista por Marcos, con la visión denominada “democrática” por Ferry, visión desde la cual critica todas las posturas dualistas:

- Al ecocentrismo porque concede demasiado a la naturaleza.
- Al antropomorfismo porque concede demasiado poco a la naturaleza y demasiado al “hombre”.
- Defiende un humanismo no metafísico.
- Critica la idea de una naturaleza perfecta.
- No considera la naturaleza como un ser perfecto ni que cualquier modificación e intervención sobre ella sea sacrílega (Ferry, 193 y ss).

Desde esta “visión democrática” Ferry critica la falacia “angelical o teológica” (Valls,1999.27) sobre la naturaleza ¿que pasa con los virus, las epidemias, las enfermedades, los ciclones, cualquier “catástrofe natural”? (204-206).

Reconoce que la naturaleza considerada como totalidad no es “buena en sí misma” y contiene al mismo tiempo “lo mejor y lo peor”. La naturaleza puede ser bella “generosa”- útil y *el* ser humano está obligado a protegerla pero también puede modificarla poniendo límites *al intervencionismo* tecnológico. (208)

---

<sup>4</sup> Como dice Ferry a propósito de otro autor, Marcos cita discretamente al propio Luc Ferry.

## 1.5 El ecofeminismo

Cómo señalaba al hablar de la visión llamada radical, Ferry incluye en ella tanto el ecologismo duro deep ecology y el ecologismo blando (soft ecology), como al eco feminismo, sin embargo, considero que las críticas hechas en general por el ecofeminismo merecen diferenciación más específica, por cuanto crítica.

- El dualismo y el “esencialismo” mente– cuerpo.
- Humano- no humano (animal).
- Masculino-femenino.
- Cultura-naturaleza.
- Producción – reproducción.
- Público- privado.
- Trascendencia- inmanencia.
- Razón-emoción.
- Crítica la instrumentalización que se ha hecho de la naturaleza, de los animales, al mismo tiempo que de la mujer (166 y ss).

El ecofeminismo se sitúa en la “tercera ola feminista” como una forma de pensamiento integrador, que rechaza los sistemas dualistas. Implica en su versión moderada la ética del cuidado, del bienestar, la armonía. Fue introducido por Françoise d’Eaubonne en 1974 en su libro *Le féminisme ou la morte* – “El feminismo o la muerte” (175-176).

Aún dentro del ecofeminismo hay tendencias diversas y distintas fuentes de inspiración y temas de estudio: Elisabeth Dodson en su obra *Green Paradise*: desarrolla una visión religiosa propone un nuevo mito edénico en el que reine la armonía la justicia, entre todos los seres naturales. Carolyn Merchant, Evelyn Fox Keller y Eulalia Pérez Sedeño (*The Death of Nature: Women, Ecology and Scientific Revolution- Reflections on gender and science* y factores contextuales Tecnología y valores: ¿desde la periferia? (177) se han centrado en el estudio filosófico e histórico de la ciencia moderna. Señalan las relaciones

entre el “hombre” y la naturaleza que se da en la concepción mecanicista surgida con el desarrollo científico de la modernidad, y su sesgo instrumentalista.

El ecofeminismo nos muestra cómo en las posturas inicialmente señaladas encontramos la tradicional y más conocida definición de naturaleza y de ciencia. En efecto, al detenemos a analizarlas, se observa que están atravesadas por una concepción excluyente que obedece a una mirada generizada y sexuada según la teoría feminista.

Por una parte, cuando se habla de la visión antropocéntrica o aún mismo de la visión humanista, en verdad se esta “generalizando” demasiado sobre tan denominación. Porque aun cuando con los términos de humanismo y de antropocentrismo deberían estar abarcando a toda la especie humana, con ellos, tanto en el lenguaje común como en el especializado, se están refiriendo en verdad, sólo al hombre varón de nuestra especie; pero además, las mujeres y los grupos considerados culturalmente como diferentes (léase no occidentales son considerados primitivos e inferiores), están excluidos. Pero, aún más importante, es anotar que, en efecto, estos grupos no han compartido ni comparten la idea de naturaleza y de ciencia predominantemente masculina-occidental.

La mirada y el acercamiento que desde la otra orilla han tenido, las mujeres, los pueblos indígenas indo americanos, las comunidades agrícolas asiáticas y africanas, las comunidades agrarias de los mismos países industrializados se corresponde con otra idea sobre la naturaleza y el saber que de ella se deriva, es esencialmente diferente de la mayoritaria.

Estas comunidades y segmentos de la sociedad, incluida la occidental en el caso de las mujeres, se relacionan con la naturaleza de una manera más armónica e integral, no explotándola y explotándola irracional e indiscriminadamente, como hace la sociedad tecnoindustrial, obviando ésta última el aspecto geográfico, pues en esta categoría entran países como Japón, cuya tradición indiscriminada de sus pescadores por señalar un caso, arrasó con especies marinas y con los mamíferos acuáticos de los océanos.

El ecofeminismo en todas sus versiones y la teoría feminista sobre la ciencia, han abordado la necesidad del replanteamiento de la relación especie humana-naturaleza- conocimiento, replanteamiento que pasa por la revisión de las respuestas que hasta el momento nos hemos dado al ¿qué? ¿Cómo? y ¿ para qué? del conocimiento científico.

## **2. LA POSIBILIDAD DE CONSTRUIR “UNA CIENCIA SUCESORA”**

Es imprescindible continuar con el cuestionamiento inicialmente planteado: ¿podemos considerar esta culminación de la tecnociencia como la máxima aspiración humana? ¿cabe un replanteamiento del qué, el cómo y el para qué del desarrollo tecnocientífico? ¿es la actual ruta escogida la que puede cumplir la aspiración del cuidado responsable de la naturaleza, tal como nos lo reclamaran pensadores como Potter y Jonas?

Desde una reflexión humanista en el sentido totalizador del término hemos de responder que el actual desarrollo tecnocientífico está muy lejos de satisfacer la aspiración misma que desde los albores de la ciencia moderna se ha buscado: mejorar las condiciones de vida de las personas, eliminando cualquier tipo de desigualdad que signifique injusticia, atraso económico, social, desventajas en el nacer, crecer, reproducirse y morir. Desde la ética y la bioética venimos propugnando sin distinciones geográficas, de género o de desarrollo económico, por un replanteamiento del cómo y del para qué del hacer científico.

Una pregunta que vale para la ciencia que hacemos en nuestro país, es si ¿se justifica la aplicación de los actuales avances de la tecnociencia en investigaciones de vanguardia de la genética, mientras que la población vive en condiciones deficitarias de salud, por enfermedades endémicas y epidémicas cuya erradicación dependen en mayor escala del mejoramiento de las condiciones de nutrición, servicios públicos y de las condiciones de vida, incluida el respeto al derecho a la vida, y el derecho a una vida tranquila y sin violencia, de la que

se ven privados amplios sectores del país ?Al evaluar tanto el panorama nacional como el internacional hemos de responder que es todavía muy largo el camino para hacer de la propuesta de bioética global y desde una ética de la responsabilidad y del cuidado un replanteamiento del trabajo científico y de la consiguiente relación de la especie humana con el resto de la naturaleza.

Para volver al tema principal, cuando al comienzo de este ensayo, señalaba como característica de las ciencias en la modernidad el estudio objetivo sobre la cosa (el objeto) observado y al hablar de las ciencias naturales la exaltación de esta característica, es menester recordar el aporte que desde la teoría feminista, científicas como Sandra Harding y Evelyn Fox Keller nos proporcionan: la obligación de señalar la utilización de una idea no objetiva y si generizada<sup>5</sup> de las ciencias y de la naturaleza.

La biofísica matemática feminista Sandra Harding propone una “Ciencia sucesora” (Harding, 1966.50), una nueva forma de hacer la ciencia que reevalúe y supere el déficit que en muchos órdenes nos ofrece la actual visión tecnocientífica, pasa por un replanteamiento desde la perspectiva de género sobre el hacer y qué hacer de la Ciencia:

- que reemplace los objetivos la ciencia moderna pues siguen los marcos de referencia metafísicos y epistemológicos masculinos (50).
- Esta ciencia sucesora ha de “eliminar el impulso defensivo androcéntrico que lleva a imaginar un ‘yo trascendental’ con una única voz que juzga cuánto se aproximan nuestros enunciados cognitivos a la auténtica y única descripción de la forma del ser mundo (50).

<sup>5</sup>

Desde la teoría feminista, la categoría de género se usa para entender todas aquellas actividades humanas, que por restricción o por ampliación, se han atribuido a una parte de la especie. Un axioma que no resulta auto evidente, sino hasta cuando la teoría feminista señala la reducción por género de las actividades humanas a valoraciones auto consideradas como masculinas, suponiendo la existencia de una “esencia” masculina contrapuesta a una “esencia” femenina, tal como se manifiesta en la metáfora de la madre naturaleza y de un conocimiento que a pesar de ser nombrado en femenino en nuestro idioma se le atribuye las características de racionalidad, objetividad, neutralidad consideradas típicamente como masculinas.

- El proyecto de la ciencia sucesora feminista cuestiona las actitudes autoritarias de la ciencia generizada y resalta la experiencia personal como fuente del conocimiento. Pero estas características no son exclusivas del feminismo porque se encuentran en otras manifestaciones de la crisis de occidente (207).
- Los proyectos feministas de la ciencia sucesora requieren la creencia radical de que es posible redefinir el progreso político e intelectual de manera que ponga de manifiesto que las jerarquías del racismo, clasismo, sexismo, cultucentrismo no son naturales, no se deben a diferencias biológicas, sino que son creaciones sociales y por tanto, mutables (207).
- Los proyectos feministas de la ciencia sucesora resaltan el análisis de las relaciones sociales entre los géneros en la vida cotidiana y la función de la actividad humana como fuente del conocimiento. Tendencia que se ha reflejado especialmente en el movimiento de la salud (207).
- La reforma educativa es fundamental para el feminismo como lo fue para los primeros radicales de la ciencia. Se hace hincapié en la reeducación de los hombres para que adquieran una visión más realista y menos deformada de la naturaleza y de las actividades tradicionales de las mujeres y de los hombres, como en proporcionar a las mujeres el tipo de educación que las haga autónomas. En este programa se valora más lo práctico y lo emocional que el conocimiento abstracto (208).
- El feminismo tiene una fuerte orientación humanista, tanto como el radicalismo primitivo de la naciente ciencia moderna en los siglos XV y XVI. Los beneficios del nuevo aprendizaje feminista se utilizarán para mejorar la salud de las mujeres, proporcionar oportunidades económicas, mejorar el cuidado de los hijos y las hijas, perfeccionar la política pública y mejorar las condiciones sociales cotidianas (208).
- Busca la unidad del saber combinando el conocimiento moral y político con el empírico. Procura unificar el conocimiento del corazón y por el corazón con el que se consigue mediante y sobre el cerebro y la mano. Considera que la investigación no sólo supone la observación mecánica de la naturaleza y de los otros, sino la intervención de la iluminación política y moral (208).

Hemos olvidado la comprensión inicial de naturaleza utilizada por los griegos como *Physis* (crecimiento), característica referida tanto orgánicos como inorgánicos que es la del, cambio, la mutabilidad, y si se quiere hablar en términos contemporáneos de transformación de la energía (dinamis).

Harding, (50) señala cómo secularmente se ha creído que el lenguaje y los conceptos utilizados en la ciencia moderna, son considerados asépticos, objetivos, y sin prejuicios. Y sin embargo, también cuando hablamos de la naturaleza y del conocimiento científico, hablamos en términos de metáforas que expresan nuestra forma generizada de ver las relaciones. La ciencia, una de las actividades humanas mas rica y variada ha estado relacionada con el esquema dual que magnifica solo un extremo: la parte masculina, supuestamente racional, objetiva.

Un distanciamiento de la naturaleza, acentuada crudamente en la visión antropocéntrica y en la utilización del conocimiento tecnocientífico que solo ha significado, avasallamiento, sometimiento, conquista y dominación.

En la simple oposición naturaleza—cultura, se puede advertir esta diferencia por género: mientras que desde la mirada femenina se ve a la naturaleza, como una definición más producto de la cultura y del entorno ideológico construido por una determinada sociedad, la mirada masculina percibe, esta definición misma de naturaleza como clara, diáfana, transparente y absolutamente sin mácula, no pervertida por el prejuicio o la ideología, en este caso de género.

En los siguientes minutos les invito a observar la reedición que hecho en base a apartes de un video recientemente difundido, en la televisión por cable, que puede ilustrar mucho mejor, la necesidad que hay de superar una “mirada masculina” sobre la ciencia. Estos fragmentos recogidos, muestran como hay una marcada tendencia en el hacer científico tradicionalmente considerado mayoritario y hecho en la mayoría por científicos, que miden el hallazgo científico en términos de la eficacia. Eficacia basada en el aspecto cuantitativo de los resultados, haciendo caso omiso de los cuestionamientos éticos, considerados como un enojoso estorbo.

Disposición que ha de ser reemplazada por una actitud mas altruista y generosa con la especie humana y con el medio en que vivimos, en que se identifiquen tanto los hombres como las mujeres que hacen ciencia. Una relación amorosa con la naturaleza y con el conocimiento descubierto puesto al servicio de la humanidad. Una relación no avasalladora, sino con un esfuerzo deliberado de conservar la armonía especie humana- naturaleza que las comunidades consideradas "primitivas" han mantenido milenariamente. Una relación responsable y amorosa, con la naturaleza y su conocimiento, tal como nos lo reclamaba en este mismo auditorio Humberto Maturana hace algunos años.

## BIBLIOGRAFÍA

- ❑ Arana, Juan. "Introducción a la biología y el quehacer filosófico". *Thémata. Revista de Filosofía*. N° 20. 1998.
- ❑ Ferry, Luc. *El nuevo orden ecológico. El árbol, el animal y el hombre*. Editorial Tusquets. Barcelona 1994.
- ❑ Jonas, Hans. *El principio de responsabilidad*. Editorial Herder. Barcelona. 1995.
- ❑ Vega, M. Maldonado, CE., Marcos, A. Racionalidad científica y racionalidad humana. Universidad de Valladolid 2002.
- ❑ Harding, Sandra. (1996). *Ciencia y feminismo*. Madrid: Ediciones Morata.
- ❑ Keller, Evelyn Fox. (1991). *Reflexiones sobre Género y Ciencia*. Valencia: Edicions Alfons el Magnanim.
- ❑ Valls, Ramón. "Una ética para la Bioética". En Casado María (1997) *Bioética y derecho*. Anthropos.

# NANOBIOTECNOLOGÍA

*Jairo E. Márquez D.*

**L**os vertiginosos cambios tecnológicos y científicos que se han venido suscitando desde hace más de cuatro décadas, obliga a la comunidad en general a replantear el papel fundamental de su entorno y su correspondiente interacción con el planeta (efecto mariposa), lo que imposibilita adoptar una posición pasiva ante estos cambios dinámicos que aún no tienen definidos límites claros a corto o largo plazo, y que en la actualidad están formando parte fundamental de la vida y en un futuro no muy lejano serán clave en la supervivencia en la Tierra y por que no en otros mundos. Ejemplos claros de ello son la Biotecnología y la Nanotecnología.

La Biotecnología ha evolucionado de forma rápida con el desmantelamiento progresivo del velo que cubría el Genoma Humano, lo que ha permitido conocer nuevas secuencias génicas, identificar nuevos fenotipos mendelianos y relacionar enfermedades humanas con genes recién descubiertos. Este descubrimiento ha planteado una nueva revolución tecnológica que crece día a día creando nuevos campos de investigación e incursionando en otros, estoy hablando de la “**NANOBIOTECNOLOGÍA**”. Término que fusiona las dos tecnologías emergentes más prometedoras del siglo XXI como son la Biotecnología y la Nanotecnología.

La Biotecnología desde el contexto de la Bioética aporta grandes beneficios para la humanidad. Sin embargo no hay que olvidar que el uso indebido del genoma, acarreará graves problemas en el futuro, no solamente para el hombre sino para todos los seres vivos que pueblan el planeta Tierra, y ello

incluye también la Nanotecnología pues su rango de acción es más amplio que la biotecnología en el que aparentemente no tiene límites definidos de aplicación. Ambas ciencias se nutren mutuamente, creando un híbrido (nanobiotecnología) que se abre camino por sí solo.

## BIOTECNOLOGÍA

Existen muchas definiciones al respecto, pero podría definirla como el conjunto de técnicas por las cuales se consigue la modificación de estructuras biológicas preexistentes, es decir, toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación, modificación de productos o procesos en usos específicos a través de la manipulación de su estructura molecular primigenia o básica de la vida.

La base de la Biotecnología es el ADN, el cual está constituido por dos cadenas de nucleótidos unidas entre sí formando una doble hélice, que establecen una asociación específica con sus homólogos de la otra cadena. Las dos cadenas de nucleótidos que constituyen una molécula de ADN, se mantienen unidas entre sí porque forman enlaces entre las bases nitrogenadas de ambas cadenas que quedan enfrentadas. Esta unión se realiza mediante puentes de hidrógeno y este apareamiento está condicionado por la afinidad química entre las bases, de tal manera que los nucleótidos que contienen adenina (A) sólo se puede unir con la Timina (T) y la Guanina (G) con la Citosina (C) tal como se muestra en la figura 1. Las bases complementarias se unen entre sí por enlaces químicos débiles llamados puentes de hidrógeno.

La molécula de desoxirribosa ocupa el centro del nucleótido y está flanqueada por un grupo fosfato a un lado y una base al otro. El grupo fosfato está a su vez unido a la desoxirribosa del nucleótido adyacente de la cadena. Estas sub-unidades enlazadas desoxirribosa-fosfato forman los lados de la escalera molecular; las bases están enfrentadas por parejas, mirando hacia el interior y forman los travesaños.

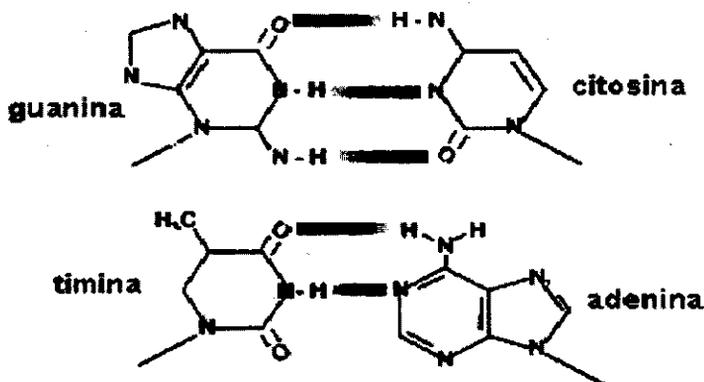


Figura 1. Estructura básica del ADN

La estructura de un determinado ADN está definida por la “*secuencia*” de las bases nitrogenadas en la cadena de nucleótidos. En estas secuencias reside la información genética. El orden en que aparecen las cuatro bases a lo largo de una cadena de ADN es, por tanto, crítico para la célula, ya que este orden es el que constituye las instrucciones del programa genético de los organismos. Lo que equivale a decir que conocer esta secuencia de bases nitrogenadas (secuenciar un ADN) equivale a descifrar su mensaje genético como tal.

La Biotecnología es una ciencia interdisciplinaria cuyo enfoque está direccionado a la investigación básica como a la resolución de problemas prácticos y la obtención de bienes y servicios para beneficio del hombre. Algunas disciplinas relacionadas con la biotecnología son: las matemáticas, Microbiología, Bioquímica, Físico – química, Química Cuántica, Física cuántica, Genética, Biología Celular, Química Molecular y Supramolecular, Ingeniería Bioquímica, Electrónica e Informática, Minería de Datos, Ciencia y Tecnología de alimentos, Proteómica, Biogenética, Genómica Funcional, Farmacogenómica y la Ingeniería de Tejidos entre otras.

La Biotecnología se vale de diversas técnicas para la obtención de material genético como son la Técnica de citogenia (utilizada para la identificación de cromosomas y material que se trasloca en éstos), Técnica de Fragmentación, Técnica de Hibridación, Técnica de Amplificación, Técnica de Enzimas de Restricción, Técnica de Clonación de Genes y Técnica de Animales Transgénicos, todo ello con el fin de poder realizar diversos estudios científicos a diferentes escalas del genoma, con aplicaciones también escalares, desde terapias génicas hasta trasplantes de órganos (xenotrasplantes) incluyendo la clonación de células hasta de seres, ya que la modificación genética es una manera de lograr ciertas características deseables en sistemas vivos. A la par de estos desarrollos científicos de la biotecnología va ligado el factor económico, tanto así, que se plantean siete características (Rifkin) que enmarcan la biotecnología como una nueva era económica que será complementada “y de que manera” con la nanotecnología, así:

1. Capacidad de aislar, identificar y recombinar genes.
2. La posibilidad de patentar genes, líneas celulares, etc.
3. La globalización del comercio.
4. Proyecto genoma humano, “gene chips”, ingenierizar la reproducción humana.
5. Ambiente cultural de determinismo genético y nueva sociobiología.
6. Fusión entre informática y biotecnología
7. Nueva visión cosmológica que relaciona las nuevas tecnologías con el nuevo orden económico mundial.

Es claro que la Biotecnología trae consigo grandes beneficios para la humanidad, cuyo objetivo primordial es aportar soluciones innovadoras y sustentables a la contaminación ambiental, producción de fármacos, alternativas para la agricultura, técnicas modernas para el mejoramiento genético del ganado, peces y aves, y paquetes tecnológicos que sean la base de nuevas empresas biotecnológicas, donde el mayor interés de las compañías de Ingeniería Genética biotecnológicas está centrado en las proteínas y de éstas la mayoría son farmo-

químicos destinados al uso humano, como son las vacunas, síntesis de hormonas, interferones y antibióticos. También su rango de acción se ha extendido a la producción y la salud animal y vegetal (genética animal y genética vegetal).

Para citar algunos ejemplos aplicado en humanos, se viene trabajando desde hace más de veinte años con los *Anticuerpos monoclonales*; los cuales son macromoléculas en forma de Y, producidas por los linfocitos B, que tienen como misión luchar contra agentes patógenos. Existen en el mercado fármacos con anticuerpos monoclonales que cubren desde la prevención del rechazo de un órgano trasplantado (Orthoclone OKT3, Zenapax y Simulec) hasta la oncoterapia (Herceptín, Rituxan, Mylotarg y campath).

## Terapia Génica

Determinados descubrimientos en el campo de la Biología Molecular han hecho posible el desarrollo de la terapia génica. Los primeros experimentos surgieron en la introducción de genes en levadura y células de mamíferos en cultivo tisular. Su aplicación está centrada en la corrección de enfermedades genéticas a través de dos medios: La alteración de células germinales y la terapia somática celular. El tratamiento genético podría llegar a curar enfermedades hereditarias, como la hemofilia o la fibrosis quística, causadas por genes ausentes o defectuosos. Una técnica de este tipo consiste en utilizar virus modificados genéticamente para insertar genes nuevos funcionales en las células de pacientes incapaces de segregar hormonas o proteínas necesarias para el normal funcionamiento del organismo.

Otro tipo de investigaciones está centrado en:

- Terapia génica de enfermedades hereditarias.
- Terapia génica de la enfermedad de injerto contra el huésped (protocolos de trasplante alogénico de médula ósea).
- Terapia génica para la eliminación de células tumorales en protocolos de autotrasplante de médula ósea.

Para efectuar este tipo de estudios se recurre a los “vectores”; que son sistemas que ayudan en el proceso de transferencia de un gen exógeno a la célula, facilitando la entrada y biodisponibilidad intracelular del mismo, de tal modo que este pueda funcionar correctamente. Se han utilizado una gran variedad de vectores con fines experimentales, pero todos ellos pueden ser clasificados en vectores no virales y vectores virales.

Los vectores no virales son poco utilizados en terapia génica, debido a que su comportamiento dista mucho de un virus como tal, por lo cual se utilizan los vectores virales, que a diferencia del primero su aplicación esta basado en cuatro grupos de virus diferentes: retrovirus, adenovirus, virus adenoasociados y herpes-virus. De manera clara, los virus pueden ser utilizados como vectores en la terapia génica, al menos bajo circunstancias ideales. La pregunta que surge es, ¿qué barreras impiden la aplicación de estos vectores víricos actualmente? Y ¿Cómo controlar las aplicaciones futuras cuando la nanobiotecnología se desarrolle mucho más?

La ingeniería genética tiene un gran potencial. Muchas enfermedades pueden curarse con terapia génica. Los órganos dañados pueden repararse o sustituirse por tejidos formados in vitro a partir de células. Obtención de genes específicos para tratamiento de enfermedades. Por ejemplo, el gen para la insulina, que por lo general sólo se encuentra en los animales superiores, se puede ahora introducir en células bacterianas mediante un plásmido o vector. Después la bacteria puede reproducirse en grandes cantidades constituyendo una fuente abundante de la llamada insulina recombinante a un precio relativamente bajo. Otra aplicación importante es la fabricación de factor VIII recombinante, el factor de la coagulación ausente en pacientes con hemofilia. Otros usos son el aumento de la resistencia de los cultivos a enfermedades, la producción de compuestos farmacéuticos en la leche de los animales, la elaboración de vacunas y la alteración de las características del ganado.

Existen infinidad de investigaciones que se están desarrollando actualmente en todo el mundo, entre las que cabe mencionar: Evaluación prenatal de embarazo de madre portadora de rearrreglo cromosómico, Hemofilia, Alcoholismo, Corea

de Huntigton, Anemia Falciforme, Hipotiroidismo Congénito, Retraso Mental, Miopatía de Duchenne, Maníacodepresión, Esquizofrenia, Síndrome de Lesch Nyhan, Deficiencia de ADA, Hidrocefalia, Microcefalia, Labio Leporino, Ano Imperfecto o Imperforación, Espina Bífida, Asesoramiento genético prenatal, síndrome de cri du chat, cinética de reparación del DNA en linfocitos humanos expuestos a nitrato de plata, detección de alteraciones cromosómicas en pacientes pediátricos con leucemia aguda linfoblástica por citogenética, citometría de flujo y fish, efectos citotóxicos y genotóxicos del albendazol y sus metabolitos en linfocitos humanos de sangre periférica, fenotipo de síndrome de wolf-hirschhorn, traslocaciones asociadas a cardiopatías congénitas, retraso psicomotor y alteraciones esqueléticas, segregación mitótica anómala de cromosomas isodicéntricos, Síndrome de Turner, síndrome de Down, síndrome de monosomía 21, enfermedad de alzheimer, fibrosis quística, caracterización molecular de dos isoformas de la proteína transferidora de esteres de colesterol, regulación de la expresión de la hil-10 por la proteína e2 de hpv en células c33-a, análisis molecular del mecanismo de implantación de embriones humanos, clonaje mediante ddr-t-pcr y "DNAc microarrays" de genes específicamente expresados en células de endometrio receptivo, regulación transcripcional del gen humano de la hormona de crecimiento (hgh-n), papel de los elementos ALU y otras secuencias enhancer/lcr, clonaje de genes específicamente expresados en tejido placentario, aplicación de la técnica de "differential display" (ddrt-pcr) al estudio de la regulación transcripcional del locus hgh/hpl, expresión del antígeno del papilomavirus humano hpv-16 en *lactococcus lactis*, expresión del gen de la hormona del crecimiento (hgh-n) bajo el control de un promotor inducible con doxiciclina, definición de las estructuras proteicas tridimensionales mínimas en el reconocimiento entre componentes del citoesqueleto y segmentos intracelulares de receptores, producción de la proteína de fusión his-e2-bpv1 para la obtención de anticuerpos policlonales, expresión del genoma del virus epstein-barr en carcinoma gástrico, síntesis de células corneales por medio de Biopolímeros, al igual que la obtención de piel artificial, mucosa, endotelio, glándulas salivares y tejido adiposo entre otros.

En animales se tiene: Detección de RNAM de citosinas porcinas en intestino por hibridación, construcción y expresión génica en *pichia pastoris* de dos

hormonas del crecimiento animal, producción de la hormonas del crecimiento en ganado vacuno, caprino y porcino, expresión del proto-oncogen c-fos y su relación con la proliferación celular en el útero de la rata, expresión de p53 y su relación con apoptosis en el útero de la rata, evaluación del efecto Edipop-génico de hormonas recombinantes del crecimiento normal y variante de primates.

En plantas los estudios están centrados en el mejoramiento de especies y la fabricación de biofertilizantes y biocontroladores. Caso particular en Colombia el estudio está centrado en la floricultura y en alimentos como la Yuca, plátano, ñame, algodón, maíz, sorgo, soya, melón, pepino, repollo, papa, tomate y arroz entre otros. A nivel mundial se manipulan otras variedades de frutas y verduras pertenecientes al sustento básico del hombre y animales. En términos generales las plantas pueden ser modificadas para beneficiar al consumidor, a la industria alimenticia, a los agricultores y a la gente que habita en los países en desarrollo. La modificación genética también puede contribuir a lograr una manera más sostenible de agricultura y además puede llevar consigo beneficios ambientales.

Las frutas y hortalizas son modificadas para mejorar su sabor y apariencia, haciendo que en algunos casos su procesamiento sea más fácil y barato, mejorar las cualidades nutritivas y de resistencia contra insectos, enfermedades, malas hierbas o condiciones climáticas adversas.

Existen infinidad de aplicaciones de la Biotecnología a escala industrial llamada *Bioindustria*; la cual comprende las actividades de la industria química: síntesis de sustancias aromáticas saborizantes, materias plásticas, productos para la industria textil; en el campo energético la producción de etanol, metanol, *Biogas* e hidrógeno; en la *Biomineralurgia* la extracción de minerales. Además, en algunas actividades cumplen una función motriz esencial: la industria alimentaria (producción masiva de levaduras, algas y bacterias con miras al suministro de proteínas, aminoácidos, vitaminas y enzimas); produc-

ción agrícola (donación y selección de variedades a partir de cultivos de células y tejidos, especies vegetales y animales transgénicas, producción de Bio-insecticidas); protección del medio ambiente (tratamiento de aguas residuales, transformación de desechos domésticos, degradación de residuos peligrosos y fabricación de compuestos Biodegradables).

## Clonación

A nivel de la Ingeniería Genética, clonar es aislar y multiplicar en un tubo de ensayo un determinado gen o en general, un trozo de ADN. En un contexto más general, clonar significa obtener uno o varios individuos a partir de una célula somática o de un núcleo de otro individuo, de modo que los individuos clonados son idénticos o casi idénticos al original.

Existen varios tipos de clonación como son:

- *Partición (fisión) de embriones tempranos*: analogía con la gemelación natural. Los individuos son muy semejantes entre sí, pero diferentes a sus padres. Es preferible emplear la expresión *gemelación artificial*, y no debe considerarse como clonación en sentido estricto.
- *Paraclonación*: transferencia de núcleos procedentes de blastómeros embrionarios o de células fetales en cultivo a óvulos no fecundados enucleados y a veces, a cigotos enucleados. El “progenitor” de los clones es el embrión o feto.
- *Clonación verdadera*: transferencia de núcleos de células de individuos ya nacidos a óvulos o cigotos enucleados. Se originan individuos casi idénticos entre sí (salvo mutaciones somáticas) y muy parecidos al donante (del que se diferencian en mutaciones somáticas y en el genoma mitocondrial que procede del óvulo receptor).

Fines (teóricamente posibles) de los distintos tipos de clonación:  
Gemelación Artificial.

En animales:

- Investigación básica para mejora de fertilidad de las especies empleadas.

En humanos:

- Investigación en mejorar los resultados en mujeres con pobre estimulación ovárica Gemelos idénticos separados en el tiempo.

### **De la paraclonación**

En animales:

- Seres idénticos para investigación producción ganadera junto con clonación, para biotecnología: tejidos “humanizados”, granjas farmacéuticas Fuentes de tejidos, para xenotrasplantes.

En humanos:

- Investigación básica y aplicada, terapia para enfermedades mitocondriales que producen ceguera o epilepsia: transferencia del núcleo del embrión hasta un óvulo-zigoto receptor.

### **Clonación verdadera**

En animales:

- Mejora de conocimientos en biomedicina modelos de enfermedades con transgénesis.
- Producción de medicamentos órganos para xenotrasplantes: cerdos transgénicos con factor inhibidor de complemento humano.
- Ganadería: Obtención de animales transgénicos.
- Recombinación homóloga para generar animales con genes inactivados y sustituidos.
- Producción de proteínas terapéuticas.
- Genzyme Transgenics: estudios con cabras. Idealmente se necesita métodos de transferencia no quirúrgica de embriones. Rápida propagación de fenotipos probados en el sector ganadero. Evitar el colapso de la diversidad

genética, limitando el número de individuos de un mismo clon en cada rebaño. Intentos de salvar especies en vía de extinción (p. ej, el Panda gigante). Incluso se está intentando “resucitar” especies extinguidas de las que hay material biológico conservado (alguna especie de marsupial australiano como el Tigre de Tasmania, el bucardo -una subespecie de cabra montesa recientemente desaparecida del Pirineo español y mamuts).

En humanos, la clonación verdadera podría tener dos usos diferentes:

- Clonación reproductiva: posibles situaciones.
  1. Como técnica de reproducción asistida excepcional, no convencional.
  2. Riesgos; datos sobre la edad celular, cáncer y efectos de seguridad.
    - Cuestiones de eficiencia.
    - Cuestiones de seguridad.
    - Clonación no reproductiva: se realiza la manipulación celular como en la anterior, pero el embrión no se implanta en útero, sino que puede servir a distintos objetivos, principalmente de investigación:
      - Sobre fertilidad, anticoncepción, etc.
      - Desarrollo embrionario.
      - Obtención de células madre e inducción de diferenciación en tejidos.

Se habla que la clonación podría representar la salvación de las especies silvestres amenazadas de extinción y difíciles de criar en cautiverio. Pero existe un problema actualmente, (posiblemente la nanobiotecnología podría sortearlo) donde la clonación no aporta diversidad genética, la especie está abocada de todas formas a la “muerte genética”, condenada quizás a vivir en zoológicos o en condiciones altamente artificiales, casi como piezas de un museo viviente. Además con la clonación, se debe tener precaución con la amenaza de pérdida de diversidad genética en animales de granja, ya que si se impusiera este método, se tendería a la uniformidad (que ya está presente en la agricultura y ganadería actuales). La biodiversidad es un recurso valioso también en los “ecosistemas agropecuarios”, ya que supone una reserva de recursos genéticos adaptados a diversas condiciones ambientales y a diversos contextos socioeconómicos.

Los beneficios potenciales de la ingeniería genética son considerables como se puede observar, pero a la vez involucra algunos riesgos como son: la introducción de genes que producen cáncer en un microorganismo infeccioso común, como el influenzavirus, puede ser peligrosa. Por consiguiente los experimentos con ADN recombinante están bajo control estricto y los que implican el uso de agentes infecciosos sólo se permiten en condiciones restringidas y controladas. Otro problema es que, a pesar de los rigurosos controles, es posible que se produzca algún efecto imprevisto como resultado de la manipulación genética (mutaciones incontroladas).

Existen disciplinas de desarrollo propias de la Biotecnología, como son: la genética animal, genética vegetal, organismos transgénicos, bioprocesos, bionegocios, biotecnología embrionaria, genética de microorganismos, biotecnología en vacunas producidas por técnicas de ADN recombinante, biotecnología de cultivos celulares, biocomputación, bioinformática, ingeniería de tejidos y Proteómica entre otros. En todas estas disciplinas, las medidas de seguridad son y deben ser estrictas, con el fin de poder evaluar y manejar cualquier riesgo relacionado con modificaciones genéticas, teniendo en cuenta el respeto a los protocolos, normas y leyes internacionales.

Cabe mencionar que dentro de las disciplinas de la *Bioinformática* y la *Biocomputación*; han permitido el desarrollo de hardware y software para el análisis de secuencias génicas cuya aplicación inicial fue en el *Proyecto Genoma Humano* (programa internacional de colaboración científica cuyo objetivo principal es conocer en su totalidad el código genético humano y las funciones de cada uno de los genes que lo conforman). Permitió acelerar los procesos de información y gestión de una manera vertiginosa haciendo más fácil la obtención de resultados en corto tiempo, lo que significó un avance sin precedentes en el diseño de bases de datos dinámicos, software para visualización de estructuras moleculares, sistemas de manejo integrado de laboratorios para I+D a nivel de la industria farmacéutica, software para estudios de redes genéticas y desarrollo de nuevos algoritmos para estudios de estructura proteica. Por lo tanto, estas disciplinas son herramientas importantes y potentes de la

biotecnología actual al igual que la nanotecnología y por extensión de la Nanobiología.



Figura 2. La bioinformática y la biocomputación son dos disciplinas de la biotecnología esenciales para el modelamiento, secuenciación y mapeo de estructuras genéticas complejas.

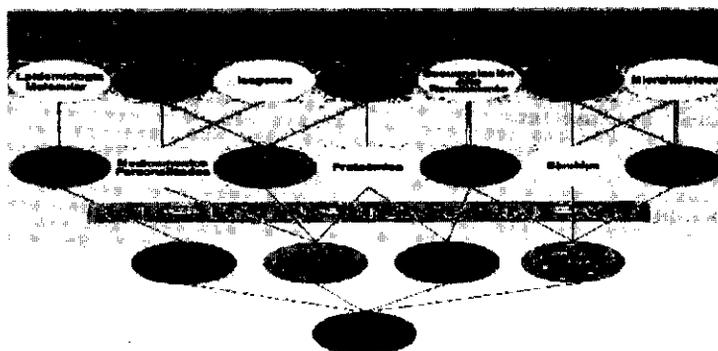
### Bioinformática

Se encuentra en la intersección entre las Ciencias de la Vida y de la Información, proporcionando las herramientas y recursos necesarios para favorecer la Investigación y Desarrollo (I + D) de sistemas útiles para llegar a entender el flujo de información desde los genes a las estructuras moleculares, a su función bioquímica y a su conducta biológica y, finalmente a su influencia en las enfermedades y en la salud.

Los estímulos principales para el desarrollo de esta disciplina han sido el enorme volumen de datos sobre secuencias generados por los distintos proyectos genoma (humano y otros organismos), los nuevos enfoques experimentales basados en biochips que permiten obtener datos genéticos a gran velocidad, bien de genomas individuales (polimorfismos, mutaciones), bien de enfoques celulares (expresión génica) y el desarrollo de Internet que permiten el acceso universal a las bases de datos de información biológica.

La bioinformática ha creado nuevos paradigmas científicos en la inteligencia artificial, los sistemas complejos y la minería de datos. Tanto así que surgen nuevos conceptos como la computación evolutiva, estrategias evolutivas, autómatas celulares, Biomemética, embrionica, hardware evolutivo, programadores evolutivos y genéticos, clasificadores genéticos, software evolutivo, redes neuronales artificiales, vida artificial, solidificación simulada y algoritmos miméticos entre otros.

En la figura 3, se muestra cómo la bioinformática tiene relación directa con diversas disciplinas, todas ellas relacionadas con el área de la salud, en el cual existen cuatro grandes bloques de desarrollo ligados a ella, como son: la genética y salud pública, el desarrollo de nuevos fármacos, la investigación biomédica y el diagnóstico clínico.



**Figura 3.** Esta figura muestra la estrecha relación que existe entre la bioinformática con el área de la salud, y como está segmentada según su rango de aplicación y/o escala.

La industria farmacéutica ha sido la primera en darse cuenta de la conveniencia de disponer de personal especializado en bioinformática, donde los conceptos de BioDatos, BioInformación y Bioconocimiento son esenciales en la Biotecnología de la información. La existencia de congresos específicos (ISMB, PSB, RECOMB), sociedades científicas (ISCB), unidades en empresas, centros académicos y del gobierno, empresas dedicadas a prestar servicios

en bioinformática, programas de formación en universidades (Oxford, George Mason, Manchester, Pennsylvania, Rutgers, Stanford, Washington-San Luis, CMU, Pittsburgh, Australian National Univ., Pune-India, Dublín, Bergen-Noruega, Johns Hopkins), revistas (Bioinformatics, "In Silico Biology", Trends Guide to Bioinformatics, Journal of Computational Biology), líneas propias de investigación y áreas particulares en convocatorias de proyectos muestran el grado de desarrollo alcanzado por esta disciplina (Gershon, 97, University Bioinformatics Programs).

Entre los objetivos de la bioinformática se encuentran:

- Anticipar los impactos que el uso de la información genética puede tener en la práctica médica y en la investigación sanitaria.
- Utilizar las tecnologías de la información y las comunicaciones para incrementar el conocimiento genético de los profesionales de la salud y los pacientes.
- Investigar y desarrollar herramientas útiles para enlazar la información genética y la información clínica.
- Dar respuesta, evaluando y aportando soluciones tecnológicas, a los nuevos retos de la investigación biomédica: Proteómica, genómica funcional y fármaco-genómica entre otras.
- Evaluar los aspectos legales, éticos y sociales del uso de la información genética individual en Medicina.

Como conclusión en este apartado, la bioinformática aplicada a las ciencias biológicas funcionales del Genoma, ha experimentando una revolución de la información en curso conducida por avances en tecnología analítica, bioquímica, biomateriales, nanotecnología, química de polímeros y ciencia de materiales. Estas tecnologías permiten a los investigadores caracterizar de manera exacta y cuantitativa las moléculas dentro de una célula y supervisar los procesos celulares simultáneamente. Hay dos desafíos principales que hacen frente a los ingenieros químicos: el desarrollo de la tecnología y el análisis significativo de la información, integrando las tecnologías bioinformáticas analíticas (software y hardware evolutivo) para la aclaración de la función celular de los

componentes (genómica funcional) como se relaciona con las nuevas técnicas metabólicas de la medida del genoma, que dirigen para la adquisición de métodos de cómputo sistemáticos sobre el genoma y Proteómica para la integración de volúmenes de datos fisiológicos y metabólicos para permitir un análisis eficaz de las células y de sus funciones.

Existe una gran discusión sobre el alcance y el futuro de la ingeniería metabólica por la incursión de la nanotecnología para manipular el genoma. ¿Un problema Bioético? Es evidente que sí, por una sencilla razón, la manipulación del genoma humano sin control alguno, les permite a las compañías privadas o públicas hacer lo que les plazca con los resultados de sus investigaciones, amparados en muchos casos por los mismos gobiernos, permitiéndoles burlar las normas y leyes que pretenden salvaguardar el genoma humano del uso indebido.

## **Biocomputación**

La biocomputación pretende crear soluciones a nivel de Hardware para los diferentes problemas relacionados con la Biología. La Biología y la Ciencia Computacional han sido dos campos distintos. Sin embargo, con los recientes y rápidos desarrollos en Biología Molecular especialmente los relacionados con secuencias de DNA, mapeo restringido y el estudio de estructuras proteicas se buscan métodos eficientes para analizar las grandes cantidades de datos de los cuales se va disponiendo.

Un concepto que se viene manejando actualmente que relaciona la biocomputación, la bioinformática y la nanobiotecnología es la minería de datos (**Data Mining**); que consiste en la “explotación” de datos en bruto. Su objetivo, perseguido mediante la manipulación semi-automática de datos, es la obtención de información clave para conseguir beneficios, información más relevante y útil que los propios datos de partida.

La minería de datos se fundamenta en la intersección de diversas disciplinas de estudio, entre las que cabe destacar: análisis estadístico, bases de datos,

inteligencia artificial, sistemas evolutivos, visualización gráfica y bases de datos, mercado de datos (Data Marts) y almacenes de datos (Data warehouses). Su importancia crece con el tamaño de las bases de datos. En otros casos basta con técnicas estadísticas tradicionales y con técnicas de aprendizaje de máquina. Las nuevas solicitudes tienen como nombre el de “Descubrimiento de conocimiento en bases de datos”, KDD. Además de las técnicas tradicionales, emplean técnicas de modelado y tecnología de bases de datos que permitan la predicción de resultados del futuro. Las etapas por las que pasa la minería de datos comienzan con una preparación y limpieza preliminar (técnicas de filtración), siguen con una combinación de patrones y relaciones encontrados (clustering) con otra información complementaria de otros orígenes y finaliza con la interpretación y conclusión de la tarea (presentación del conocimiento descubierto en una forma amigable para el usuario, es decir para la toma de decisiones). Para que efectúe esta tarea el sistema, debe recurrir a supercomputadoras con alto procesamiento en paralelo.

Los sistemas LIMS permiten la integración y gestión de los datos de laboratorio, y posteriormente toda la información pasa por el DATA MINING para ser procesada y visualizada (ver figura 4).

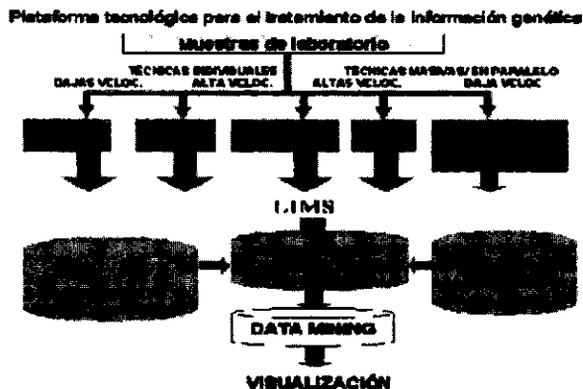


Figura 4. Para procesar cantidades masivas de información, se aplican técnicas de Data Mining las cuales a través de su procesamiento en paralelo analizan de manera rápida bases de datos masivas (Giga y Terabytes).

## **Proteómica (el estudio del proteoma)**

Es una rama de la biotecnología de suma importancia que en conjunto con la nanotecnología avanza a pasos de gigante. En esta disciplina se analiza la dinámica de las proteínas, estado de activación y de la interacción de una proteína con otra, a través de modelos matemáticos simulados por medio de supercomputadores e hipercomputadores.

La Proteómica puede definirse como la genómica funcional a nivel de proteínas, es decir, estudia el proteoma a partir de un conjunto de proteínas que se expresan en el genoma. Para ello se utilizan técnicas de separación e identificación de proteínas a gran escala. Estas técnicas van desde la cristalización de proteínas, hasta la inferencia de su estructura y función a partir de la secuencia.

La Proteómica es la ciencia que correlaciona las proteínas con sus genes. Las células expresan varios miles de proteínas diferentes y cada una de ellas puede experimentar numerosas modificaciones en respuesta a microambientes que no necesariamente deben ser iguales, lo que incrementa de forma significativa el número de especies proteicas presentes. Por lo tanto, el proteoma es una imagen dinámica de todas las proteínas expresadas por un organismo, tejido o célula, en un momento dado y bajo determinadas condiciones concretas de tiempo y ambiente(s).

El conocimiento final de la secuencia del genoma pone en claro que se está hablando de la identificación y de la secuenciación de una cantidad de entre 40.000 y 50.000 genes del genoma humano. Toda esta información contribuirá en forma notable sobre el desarrollo de la biología y la medicina; en este punto la proteómica encara un gran problema, y es que a partir de más o menos 200 aminoácidos se complica el análisis y observación de una proteína, sumado a esto se calcula que en el hombre hay aproximadamente 500.000 proteínas, cuyos tamaños varían, al igual que sus funciones. Por ejemplo en la expresión de la función celular. Esta expresión es modulada en varios puntos de la transcripción, el procesamiento y la traslación, y aún después de esto la adición

de cadenas específicas de hidratos de carbono o la fosforilación, procesos que dan origen a múltiples productos proteicos de un solo gen.

La Proteómica hasta ahora está surgiendo pero es claro que su ingerencia en la ingeniería genética y por extensión en la biotecnología es básica para el tratamiento de muchas enfermedades, al igual que en el desarrollo de nuevos fármacos.

Hasta este punto, se ha hecho una breve exposición de lo que es la biotecnología, de sus cambios y beneficios para la humanidad, en la cual la demanda de alimentos está aumentando dramáticamente a medida que la población del mundo crece. La biotecnología ofrece una manera de satisfacer esta creciente demanda sin necesidad de imponer una presión aún mayor sobre los escasos recursos naturales. Permite cultivar plantas de mejor calidad con mayores rendimientos, al mismo tiempo que se protege y sostiene el medio ambiente. Animales cuya carne es más nutritiva y menos nociva para el organismo humano, etc.

Ahora, es claro que no todo es color de rosa, surgen algunos aspectos negativos que opacan el uso de la Biotecnología en muchos campos. Aunque se manejen protocolos de seguridad en productos manufacturados biotecnológicamente, existe incertidumbre respecto a la fiabilidad y confiabilidad de estos, por citar algunos ejemplos; el maíz Starlink que contaminó con una proteína sospechosa de ser alergogénica, la cadena alimentaria humana (productos Kraft en los EUA), se retiraron del mercado más de 300 productos y la contaminación genética por este maíz apareció por todas partes del mundo, contaminando otras variedades que no tenían ningún nexo directo con ésta.

Se han comprobado contaminaciones de colza en Europa, de algodón en la India y en alimentos dados como ayuda a América del Sur y África. No menos polémico y vigilado ha sido el desarrollo de transgénicos de uso industrial (farmacéutico, materias primas) y los experimentos de transgenia en animales (generalmente con finalidades industriales).

Es claro que las compañías multinacionales tratan de encubrir estos hechos lamentables sobre los alimentos transgénicos, la culpa se puede atribuir a las políticas poco claras por no decir que deshonestas de estas industrias (Monsanto, Novartis, Prodigene, Aventis, Dupont, Zeneca, Bayer, Sandoz y Nescle por citar algunas) en lo concerniente a las investigaciones y productos que han sido modificados genéticamente, y que son distribuidos por todo el planeta sin un control estricto y lo que es peor es que existen casos en los cuales el consumidor no lo sabe.

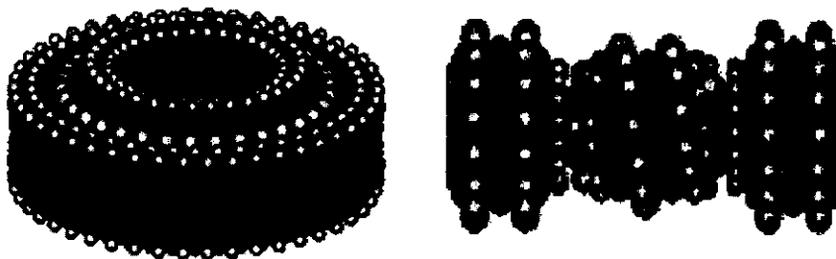
Otro aspecto negativo de la Biotecnología es el relacionado con la forma injusta y poco ortodoxa en la que se está patentando el genoma, sea humano o de cualquier especie, reduciendo la vida y la naturaleza a un producto más, atentando de manera directa contra los derechos humanos e inclusive contra la soberanía de los países ricos en biodiversidad como Colombia.

“Es importante que la humanidad se apersona de la riqueza natural que posee cada uno de sus países, y no solo en el ámbito conservacionista si no en el ámbito científico e investigativo, con miras a crear soluciones al entorno sin esperar a que otros agentes externos lo hagan. Para ello es importante que los gobiernos tomen cartas sobre el asunto planteando políticas claras respecto a la protección de la biodiversidad y explotación del genoma con fines industriales, al igual que el control y manejo de las patentes. Caso particular, Colombia, donde desafortunadamente las leyes son muy laxas en estos aspectos. Permitiendo que muchos de los recursos genéticos estén siendo explotados por multinacionales sin control alguno”.

Es claro que la Biotecnología se abrió paso por si sola en el campo del conocimiento, pero a medida que se indaga más sobre las partes constitutivas del genoma más se advierte la necesidad de recurrir a conceptos, modelos y técnicas más refinadas de otras disciplinas. No sobra decir, que la matemática, la química molecular, la química cuántica, la física nuclear, la física atómica, la física cuántica y la física estadística entre muchas otras, son piezas fundamentales para comprender el intrincado comportamiento de la materia a escalas

microscópicas. Pero a medida que se desea conocer más sobre el genoma, la Biotecnología se queda corta en sus procedimientos (cuestión de escalabilidad o dimensiones), por lo tanto, la **Nanotecnología** está permitiendo aumentar el potencial de investigación y desarrollo a escalas, macroscópicas, mesoscópicas, microscópicas y atómicas de esta ciencia, manifestándose a través de la nueva ciencia emergente llamada **Nanobiotecnología**.

## NANOTECNOLOGÍA



**Figura 5.** Futuros nanoengranajes contruidos con moléculas. Sus aplicaciones van desde las nanomáquinas (proteínas, enzimas, hormonas) replicadoras y autoreplicadoras hasta nanorobots. Cortesía de IMM. Institute for Molecular Manufacturing. [www.imm.org](http://www.imm.org).

*La Nanotecnología* o tecnología de lo pequeño, o también llamada tecnología atómica, trabaja a escalas del orden de una milésima de millonésima de metro ( $10^{-9}\text{m}$ ), y está enfocada a diseñar, controlar y modificar materiales orgánicos e inorgánicos, a través de la miniaturización de componentes a rangos del nivel de un submicrón hasta niveles de átomos individuales o moléculas (100nm y 0.1nm).

La Nanotecnología hizo su aparición hace más de tres décadas, y su aplicación se ha diversificado de manera exponencial en casi todas las áreas del

saber, creando de paso nuevas disciplinas de estudio en el área de la investigación y desarrollo (I + D). Por ejemplo: Nanoelectrónica, Nanomedicina, Nanomáquinas, Nanorobótica, Moletrónica, Bionanotecnología, Biomateriales Nanoestructurados, Computación Molecular, Computación de Proteínas, Computación Cuántica, Biocomputación, Computación ADN, Computación "ptica, Química Supramolecular, Química Computacional, Espintrónica, Nanosensórica, Protocatálisis, Nanoestructuras, Nanomateriales, Nanodispositivos, Fluidos Nanoestructurados, Nanocompuestos y simulación de sistemas nanoescalares, Nanofotónica, Nanobiología, Nanometría, Nanolitografía, Nanoinstrumentación y Nanoquímica entre otros.

La Nanotecnología es multidisciplinar requiere de aportes de campos variados como son: las matemáticas, la Biología Celular, Biología Molecular, Bioquímica, Ingeniería Química, Ingeniería Genética, Microbiología Electrónica, Química - Física, Ingeniería Genética, Proteómica, Química Nuclear, Química Cuántica, Física Cuántica, Física Molecular, Física Estadística, Física Atómica y Nuclear, Cristalografía, Tecnología de Materiales, Bioética y Ciencias de la Salud entre otras.

## DESPLIEGUE DE LA NANOTECNOLOGÍA

La nanotecnología está desplegada según los campos de investigación, desarrollo y escala en la que se trabaje. Así:

- **Nanotecnología seca;** se emplea en la nanoconstrucción de estructuras usando como materia prima átomos de carbono. Los nanotubos aplicados a la nanoelectrónica funcionan según el dopaje como aislantes (ver figura 6), semiconductores o conductores eléctricos. También se aplica la nanotecnología seca en materiales criogénicos, en dispositivos optoelectrónicos, en construcción de dispositivos de estado sólido y en la construcción de ensambladores y autoensambladores moleculares.

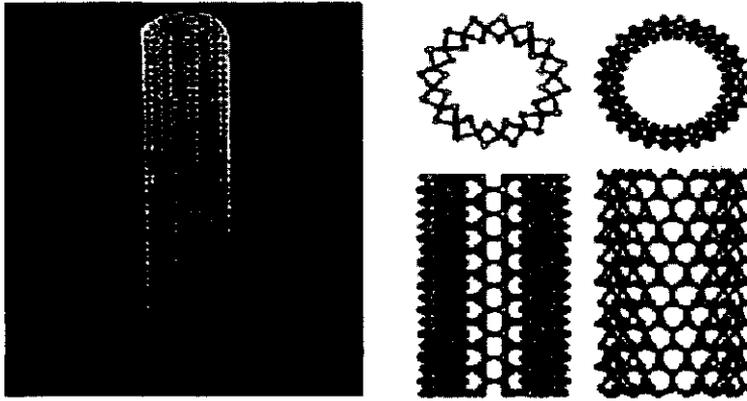


Figura 6. Estructuras de un nanotubo que consta de átomos de carbono distribuidos en forma homogénea formando hexágonos y pentágonos, los cuales le dan gran resistencia y fortaleza mayores inclusive que el acero.

- **Nanotecnología húmeda;** su desarrollo está dirigido básicamente a la investigación de sistemas biológicos o vivientes que son gobernados a escala nanométrica, tales como el material genético (mapa genético), enzimas, hormonas, proteínas y componentes celulares en general. Se ha comenzado a producir nanomáquinas basadas en proteínas, al igual que el uso de material genético para formar enzimas, las cuales son de por sí máquinas capaces de construir o deshacer moléculas. Estas investigaciones se promueven en la dirección de crear circuitos moleculares y computadoras proteicas.
- **Nanotecnología computacional;** en ella encontramos la computación cuántica y la computación orgánica o molecular (ADN), también abarca los campos de simulación y modelado de nanoestructuras complejas, como son nanocircuitos y nanotransistores. Combina la nanotecnología seca y húmeda. Se discute si será mejor empezar desde abajo o desde arriba (en tamaño) para llegar a escalas nanométricas. También se cuestiona la viabilidad de una tecnología que deberá “luchar” contra principios físicos como el de Incertidumbre de Heisenberg y sus efectos sobre la física cuántica, el calor desplegado por las vibraciones moleculares, las radiaciones, etc.

## ENSAMBLADORES

Uno de los gestores de la nanotecnología molecular Eric Drexler autor de la célebre obra "*Engines of Creation and Nanosystems*" predice que la nanotecnología propenderá a la creación de microrobots y nanorobots y a una revolución industrial sin precedentes. Si llegase a realizarse sus predicciones, la función primaria de los nanorobots será el mantenimiento del cuerpo humano. Por ejemplo: reparación y cableado de tejido cerebral a control remoto, reparaciones corporales tales como arterias, órganos internos, tumores, oídos y ojos sin la necesidad de operación. En este campo se está trabajando a una escala micro y macroscópica como es la Inteligencia Artificial IA (*Inteligencia Nanométrica*), biónica, cibernética, microelectrónica y bioingeniería entre otras.

Drexler plantea la existencia de los ensambladores, los cuales son máquinas moleculares que construyen o ensamblan de abajo arriba bloques o componentes básicos para formar productos. Por ejemplo, máquinas moleculares para tareas específicas o para repetir la misma función que su progenitor, que a su vez crearan otras mayores. Este proceso sigue hasta que las máquinas de ensamblaje configuren el producto final, utilizando como única materia prima cantidades amorfas de átomos necesarios. Se plantea que estructuras como edificios sean construidos por nanorobots capaces de autoreplicarse de tal manera que creen y ensamblen estructuras usando elementos del entorno (átomos y moléculas). Lo que garantiza el uso racional de materia prima. Dicho principio sería aplicado a todo; electrodomésticos, eliminación de residuos, drogas, órganos y tejidos artificiales, nanosatélites, computadoras, reparación de la capa de ozono y exploradores robóticos, obtención de alimentos a partir de síntesis moleculares, producción industrial sin polución y más eficiente, vehículos, naves y estaciones espaciales más livianas y resistentes. ¿Fantasía o realidad? Es posible por ahora, pero la ciencia no se detiene y es solo cuestión de tiempo para que la ficción se haga realidad.

La empresa privada Zyvex, está en la búsqueda de solución al problema de la creación de los ensambladores, trabajando para construir la máquina precursora de ensamblaje. La empresa tiene tres métodos para abordar este problema:

1. Involucrar la creación de dispositivos que pueden fabricar versiones más pequeñas de ellos mismos, y su vez, estos crearían versiones más pequeñas aún.
2. Creación de piezas tipo “Lego” que se pueden manipular y luego armar (montar) en tres dimensiones.
3. Desacelerar una capa de átomos en una superficie, luego ponerlos en orden y después montar encima otra capa de átomos.

Se está investigando en medicina el uso intensivo de enzimas.

Cada una de ellas es una factoría química completa reducida a una escala nanométrica. Estas enzimas han evolucionado durante miles de millones de años para lograr una fabricación ideal de productos químicos. Estas nanomáquinas moleculares son quienes hacen que la vida funcione. Estas investigaciones traen consigo implicaciones evolutivas sin precedentes, es decir, manipular las factorías químicas de la vida involucra cambios en las estructuras atómicas y moleculares de las células, y por ende de las formas de vida macroscópicas. Una emergencia de la vida artificial, evolucionando por sí misma, creando su propio espacio dentro de la biosfera.

Con base en lo anterior surge *La nanotecnología molecular*, que se extiende a la construcción de proteínas o células bajo parámetros previamente diseñados para el tratamiento de enfermedades (nanofármacos). Se pretende buscar proteínas capaces de reconocer y unir diferentes tipos de materiales inorgánicos con fines de obtener sustancias o bloques de proteínas para aplicaciones específicas, como computadoras moleculares autoconstruidas.

Se podrían crear células ensambladoras, las cuales portarían información para crear órganos o tejido; a nivel biológico los ribosomas leen un cadena de ARN, para obtener instrucciones de acuerdo con las cuales encadenar los aminoácidos que constituyen una proteína, se podría imaginar por un momento el potencial que tendría la nanotecnología si se logra decodificar y codificar correctamente las bases fundamentales de un órgano en particular o en el mejor

de los casos un ensamblador crear un ser humano. Se estaría hablando de inmortalidad y también de manipular la vida a nuestro antojo.

El potencial de aplicación de la nanotecnología en la curación de las enfermedades que se conocen actualmente es efímero, pero con los nuevos descubrimientos no pasará mucho tiempo en que se logren controlar los genes de la vida y con ello la eliminación de las cirugías, también mejoras en el mercado, rastreo y resultados de los *Biochips*. Paralelo a estas investigaciones se pretende diseñar nanorobots con funciones específicas, como son: actuar como ensamblador molecular y poseer la capacidad de replicación, lo que garantizará obtener resultados a gran escala.

Otra aplicación ideal es la erradicación de la contaminación del agua y el aire, la síntesis de oxígeno y madera a partir del dióxido de carbono y agua sin dejar residuos en el proceso. La creación de materiales resistentes y superconductores, manipulación de átomos por medio de nuevos *nanotubos* a través del microscopio de fuerzas atómicas (*AFM*), o del microscopio por efecto túnel (*STM*). La *nanolitografía* para la progresiva reducción de los procesadores. La provisión de nuevas e ilimitadas fuentes de energía permitiendo sustituir de una vez por todas los combustibles fósiles, la construcción de colectores solares cuya forma cristalina esté formada por nanoestructuras de menor longitud de onda a la solar, de tal manera que garantice una mayor captación de fotones y por ende, un mayor aprovechamiento energético.

*Teleportación.* La nanotecnología molecular da la posibilidad de descomponer molécula a molécula, átomo por átomo, para posteriormente “transportarlos” a velocidades cercanas a la de la luz y reconstruir la misma molécula pero en otro lugar; proceso que incluiría moléculas biológicas. El objetivo a gran escala es la teletransportación de humanos en cualquier punto de la Tierra o en el espacio.

*Nanolaboratorios.* Constituyen una propuesta en un futuro no muy lejano frente a los laboratorios convencionales que ocupan amplias salas, en donde se podrán diseñar auténticos centros de investigación del tamaño de un microchip.

Una aproximación a este objetivo son los biochips, repisas inteligentes y microarrays.

Otro aspecto que no puede pasar desapercibido es *el tratamiento de la síntesis y funcionalización superficial de nanopartículas*. Es un área de importancia crucial en el campo que emerge de la nanotecnología. Controlar la composición química superficial y dominar su modificación en escalas nanométricas por medio del uso de las nanopartículas. Los usos básicos de la funcionalización superficial se extienden de alterar la adherencia de soldadura o las características de la adherencia y de mejorar la dispersión de las nanopartículas en matrices para realzar las características catalíticas de la sustancia o material.

La creación de sitios superficiales específicos con las nanopartículas para el accesorio molecular es selectiva y se considera como un acercamiento prometedor para sus usos en *nanofabricación, nanosensores, nanomodelado, selfassembly (Ensamble único), bioprobos (Biopuntas de prueba), entrega de droga, pigmentos, Protocatálisis, LED'S (Diodos fotoemisores), materiales nanoestructurados absorbentes, membranas de cerámica, síntesis de templado y síntesis líquida de fase de nanomateriales, estructuras nanoescalares poliméricas y síntesis de materiales catalíticos nanoestructurados, aplicación del STM a la caracterización de estados de superficie, estudio de las propiedades electrónicas de superconductores con el STM, estudio de la estructura de membranas biológicas con AFM, fabricación de nanoestructuras magnéticas sobre aislantes, medición de magnetoestricción con un AFM, estudio de la estructura de capas delgadas de líquidos sobre superficies con AFM, materiales magnéticos grabables de alta densidad, cinética de oxidación local en Si con AFM, nanohilos magnéticos, efecto de la dispersión electrónica en las fronteras de grano en materiales nanoestructurados.*

A la par de estas técnicas, existe la simulación de sistemas nanoescalares y el modelado de las características termofísicas nanoescalares, usando sistemas de cómputo no lineal (complejidad computacional, computación dinámica e hidrodinámica y computación evolutiva entre otras).

La implementación de esta tecnología permitirá obtener materiales con propiedades ideales, los cuales podrían proporcionar estructuras con resistencias mayores y computadoras que no tendrán nada de parecido con las actuales, ya que su procesamiento de datos será en paralelo a escalas atómicas y moleculares, también se pretende crear nanosensores y nanorobots de exploración y reparación de tejidos, nanomáquinas y motores moleculares, circuitos moleculares (Nanoelectrónica – Moletrónica), diseño y síntesis de diadas y triadas de [60] fullerenos para aplicaciones fotovoltaicas hacia materiales moleculares basados en metaloftalocianinas, calixarenos complejos y catálisis de moléculas-motores a moléculas-máquinas y sistemas electrónicos, catenanos y rotaxanos conteniendo metales de transición como prototipos para máquinas y motores moleculares, sistemas y máquinas moleculares, zeolitas como matrices para incorporar huéspedes funcionales de motores moleculares poliméricos a músculos artificiales laminares, síntesis controladas de polímeros emisores de luz, estrategias macromoleculares y supramoleculares a organizaciones helicoidales, nuevos catalizadores nanoporosos de interruptores a motores moleculares.

Para poder llegar a tan anhelado sueño se están implementando nuevos procesos de fabricación en serie que serán más económicos. Con miras a la optimización de productos fruto de la nanofabricación, existen actualmente una serie de métodos para la construcción de estructuras menores a los 100nm, en la que cada una de ellas presenta ventajas y desventajas según su aplicación. Como son: método de fotolitografía (usada actualmente para la impresión de chips), método por sonda exploradora (microscopio de efecto túnel, el microscopio de fuerzas atómicas y el microscopio de sonda de barrido), método descendente en los que se tiene la litografía blanda y la litografía de pluma bañada, y finalmente el método ascendente, que a diferencia del anterior ensamblan átomos o moléculas para formar nanoestructuras.

Actualmente la nanotecnología ha entrado con fuerza en las instituciones académicas en todo el mundo. En ella la industria ha puesto sus esperanzas, ya que se ha demostrado que la inversión en este campo vale la pena, sobre todo en el área de la medicina, donde la biotecnología es pieza fundamental. Por

citar algunos ejemplos: para diagnóstico y terapia en el que se emplean nanoestructuras construidas con materiales inorgánicos, nanopartículas inyectadas en el organismo usadas como marcadores o como medio para almacenar y liberar fármacos en sitios indicados, modificaciones nanométricas de los implantes superficiales tales como una cadera artificial, medios de contraste para detección de enfermedades en fase temprana, Biochips de última generación usado como detector de mutaciones genéticas.

A continuación se procede a enunciar y explicar algunas aplicaciones y desarrollos de la nanotecnología (e indirectamente la nanobiotecnología) que se vienen realizando desde hace algún tiempo en diferentes partes del mundo, usando nuevas técnicas y métodos de solución de problemas a escalas atómicas, microscópicas y mesoscópicas.

### Máquinas moleculares

Entre ellas se tienen los músculos, los cuales convierten la energía química derivada de los alimentos en fuerza mecánica. Este proceso de conversión que aun no se conoce muy bien es un problema importante en la biología. Un músculo esquelético de un vertebrado está hecho de muchas células denominadas fibras, integradas por un conjunto de miofibrillas cilíndricas. Dentro de cada una de estas miofibrillas hay pequeñas unidades básicas de producción de fuerza, similares a pequeños motores lineales denominados *sarcómeros*, que están integrados por los filamentos gruesos, formados por la proteína miosina y los filamentos delgados por la actina. Cuando una señal transmitida por un nervio llega a un músculo dispara su contracción y acortamiento. Con el descubrimiento de la estructura cristalográfica de la cabeza de miosina se está comprendiendo cómo los motores moleculares o cabezas de miosina, pueden producir fuerza y cómo ésta se controla.

Otro aspecto a tener en cuenta es saber cómo se controla la contracción muscular al incrementarse la concentración de calcio y entender por qué en algunos músculos un incremento en la concentración de calcio libera las cabezas

de miosina de la superficie del filamento. Estos estudios están enfocados al estudio de la enfermedad llamada Cardiopatía Hipertrófica Familiar (*CHF*), caracterizada por un engrosamiento anormal del músculo papilar y de la pared del ventrículo izquierdo y el septum ventricular. Lo anterior es de sumo interés para comprender más sobre esta y otras enfermedades musculares, al igual que abre las puertas para la experimentación en biónica, con materiales híbridos o sintéticos (materiales inteligentes, biomateriales).

Actualmente se ha creado un motor de ADN que es 100.000 veces más pequeño que la cabeza de un alfiler y la técnica que usan llevarían a la producción de ordenadores 1.000 veces más potentes que los actuales. El ADN ejerce de carburante para estos motores lo que implica que sean completamente autosuficientes y no requieran más operaciones ni manipulaciones químicas. La primera idea sobre motores de ADN fue de Bernard Yurke físico de Bell Labs, el cual observó que los motores de proteínas a escala molecular en los organismos vivos son los responsables de las contracciones musculares y del movimiento de las células. La existencia de motores moleculares biológicos le hizo pensar en la posibilidad de construir motores moleculares sintéticos basados en procesos nanotecnológicos.

### **Los catalizadores de zeolita**

Son minerales con poros menores a un nanómetro capaces de separar gases o líquidos con base en el tamaño y forma molecular, su función es partir las grandes moléculas de hidrocarburos y con ello formar gasolina. Existen catalizadores nanoporosos que actúan como interruptores de motores moleculares poliméricos y músculos artificiales laminares, su estructura está enhebrada por una red de túneles interconectados y jaulas, similar a un panal de abejas. Un tanque de combustible con estos cristales podría entrapar y guardar el gas de hidrógeno sin necesidad de someterlo a un estado criogénico, con lo que per-

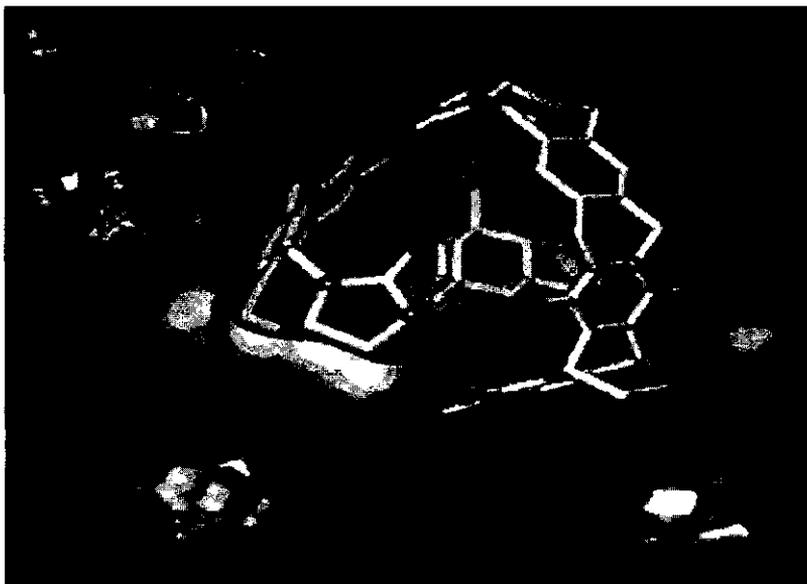
mitiría acelerar la investigación en nuevos sistemas de propulsión de naves espaciales, o en el reemplazo de combustibles contaminantes, por motores propulsados por hidrógeno, caso que merece enunciar es una empresa canadiense, cuyos autobuses usan motores propulsados por hidrógeno, generando como único residuo vapor de agua, que no es nocivo para la salud del hombre ni daña la naturaleza.

### **En medicina molecular**

La nanotecnología es utilizada para encapsular fármacos, la empresa Gilead Sciences, utiliza esferas de lípidos de una diámetro de aproximadamente 100nm, que encapsulan un fármaco anticáncer para tratar la enfermedad conocida como Sarcoma de Kaposi que está asociado con el SIDA.

El Instituto Curie ha planteado una nueva técnica de rastreo molecular llamada *Ephesia*, basada en nanopartículas magnéticas con la propiedad de organizarse en un labchip. Estas nanopartículas esféricas son diminutos imanes colocados en una suspensión acuosa, que al aplicarse un campo magnético sobre esta, las nanopartículas se alinean según las líneas del campo, volviendo a su estado original al eliminar dicho campo. Esto se hace con el fin de que estas filas de partículas actúen como una barrera semipermeable de fácil regulación según el tamaño de las muestras a filtrar, de tal manera, que al pasar varias moléculas por esta se separan según su tamaño.

La aplicación de *Ephesia*, se extiende al análisis del ADN, cuyo proceso es corto a diferencia de los métodos convencionales. Otra futura aplicación es la identificación de tipos celulares al injertar anticuerpos específicos en las nanopartículas, al igual que la identificación de las células cancerosas que han hecho metástasis.



**Figura 7. Modelo computacional de una molécula ensambladora que actuaría para codificar proteínas y/o enzimas en procesos celulares. Cortesía de IMM. Institute for Molecular Manufacturing. [www.imm.org](http://www.imm.org).**

En la fabricación de materias primas como son los *nanotubos* o *nanoestructuras*, al igual que nanocristales, todos ellos tienen dimensiones que oscilan entre los muy grandes de 800nm hasta los más pequeños de 11nm. Por ejemplo los nanotubos de carbono de una sola capa, formados por configuraciones geométricas hexagonales de átomos de carbono, presentan un doble comportamiento, como lo es de ser metálicos o semiconductores, donde la diferencia radica en el diámetro del nanotubo y la helicidad que describe el ángulo de torsión del tubo haciéndolo elástico y resistente, a parte de no poseer defectos o dislocaciones lo hace poseer alta resistencia a las tracciones, presentan propiedades mecánicas, ópticas, magnéticas y eléctricas fuera de lo común, lo que permite entre otras cosas llenarlos con moléculas metálicas ya que estas no tienen ninguna interacción con las paredes haciéndolas ideales como lubricantes.

## **Nanocircuitos y electrónica molecular (Moletrónica)**

Se han construido ya nanotransistores y filamentos nanométricos que oscilan entre 4 y 10nm de diámetro de manera independiente, es decir, aun no se han podido ensamblar a gran escala debido a que no existen dispositivos que permitan ensamblarlos a escala industrial. Para citar un ejemplo en los avances de este campo está el Transistor de Efecto Túnel Cuántico; su obtención se logra aplicando la técnica conocida como epitaxia por rayos moleculares, que consiste en la deposición de capas de material del espesor de un átomo sobre un sustrato, entendido éste como la base para el crecimiento del transistor.

La función del transistor es de regular el flujo de electrones entre dos capas de GaAs (arseniuro de galio) de espesor 15nm, separados por una barrera de AlGaAs (arseniuro de galio aluminio) de 12nm de espesor. A pesar que los electrones de la primera capa no poseen energía suficiente para penetrar la barrera en términos clásicos, existe la probabilidad a nivel cuántico, que traspasen la barrera en forma ondulatoria, de tal manera que no interactúan con los átomos de impurezas, en contraste con un transistor convencional en el que los electrones son tratados como partículas, los cuales son frenados por las múltiples colisiones con los átomos. Los nuevos transistores efectuarán conmutaciones de apagado y encendido de  $10^{18}$  veces por segundo, es decir, cinco veces más rápido que los transistores de última tecnología. Se espera conseguir que estos dispositivos trabajen a temperatura ambiente, ya que actualmente operan a temperaturas criogénicas (77°K).

La electrónica molecular está dividida a la vez por ciencias nanoescalares propias, como son:

***Electrónica de espín (espintrónica)*** que se subdivide en:

***Fabricación de uniones túnel magnéticas***

Se utilizan electrodos de óxidos ferromagnéticos de valencia mixta, donde los valores más altos de magnetorresistencia a temperatura ambiente han sido

obtenidos en uniones formadas por electrodos metálicos y barreras de alúmina amorfa, cuya aplicación está dirigida a la construcción de dispositivos de espín y sensores magneto-resistivos.

#### *Despolarización en interfases*

Una capa magneto-resistiva única sobre un sustrato monocristalino constituye un punto de partida conveniente para avanzar en la comprensión de los mecanismos subyacentes en la despolarización en las uniones ferromagnéticas (FMI) e interfases y las características de las interfases propias.

Se pretende dilucidar los factores estructurales, es decir, el desajuste entre las redes ferromagnéticas e interfases, que contribuyen a la aparición de una capa no ferromagnética en la intercara de un cristal. El objetivo es diferenciar los efectos, puramente elásticos o plásticos, de readaptación de las redes cristalinas a causa del desacoplamiento estructural, y de diseñar estrategias para poder eventualmente minimizarlos.

#### *Heteroestructuras FM/I/FM*

Los dispositivos de inyección túnel de espín polarizados exigen, en general, el crecimiento de heteroestructuras FM/I/FM. Es decir, fabricar una válvula de espín, por ejemplo, implica tres capas y dos interfases. El objetivo es diseñar y fabricar estas heteroestructuras y determinar sus prestaciones de tal forma que sean operativas a la temperatura más alta posible.

Se quieren fabricar heteroestructuras y determinar la conductancia y su dependencia en el campo aplicado y la temperatura. El objetivo, naturalmente, es conseguir el máximo cambio de conductancia y en el rango de temperatura más amplio posible. Para ello se debe lograr minimizar la despolarización de interfase.

La naturaleza y espesor de la barrera, su compatibilidad con la capa ferromagnética, el área de la unión, y la microestructura y rugosidad de las interfases serán claves para controlar la respuesta magneto-resistiva, esto con el fin de

crear procesos de litografía y marcado, y a partir de las heteroestructuras obtenidas fabricar uniones túnel de tamaño de  $10\mu\text{m}$  y  $300\mu\text{m}$  de diámetro, que se caracterizarán mediante medidas de magnetotransporte.

### **Materiales granulares en forma de lámina delgada**

La magnetorresistencia gigante observada en sistemas heterogéneos en los que granos ferromagnéticos se encuentran embebidos en matrices metálicas no magnéticas es algo que se conoce desde hace algún tiempo. Más recientemente se ha observado magnetorresistencia elevada en heteroestructuras en las que granos ferromagnéticos desconectados (Co) se encuentran dispersos en una matriz aislante ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ); en estos casos la conducción se produce por efecto túnel o por *hopping* térmico. Aunque en ambos tipos de materiales la magnetorresistencia presenta valores similares, la resistividad llega a diferir hasta en 10 órdenes de magnitud. En este campo se interesa en el estudio de los mecanismos de imanación y de cómo ellos influyen en las propiedades de magnetotransporte. La reducción del tamaño da lugar a efectos de superficie, efectos de confinamiento y aparición de nuevos fenómenos cuánticos en la escala nanométrica. Es importante, por ejemplo, mencionar que quizá una de las características que definen a los nanoobjetos es la creciente importancia de efectos cuánticos, lo que en ocasiones se utiliza como definición del dominio de la Nanociencia.

Otros puntos importantes son:

- Efectos de superficie y de interfase y su influencia sobre la imanación, la anisotropía magnética y la dinámica de estos clústeres.
- Efectos cuánticos de tamaño finito, que modifican la estructura de niveles electrónicos y por tanto, también la respuesta magnética.
- Estudio de la dinámica cuántica de la imanación.

Un campo sin explorar es el de las heteroestructuras en las que la capa entre electrodos ferromagnéticos sea una lámina delgada, en la que granos

ferromagnéticos de una aleación de Tierra Rara con metal de transición (TR-MT) estén dispersos en una matriz aislante. El hecho de que se utilice una aleación en lugar de gránulos de tierra rara pura se debe a que, a pesar de haberse realizado numerosos intentos, no se ha encontrado evidencia de magnetorresistencia gigante en estructuras tipo tierra rara - metal no magnético. Esto debe asociarse a que en las tierras raras metálicas los orbitales 4f que dan lugar al magnetismo están muy localizados y la polarización de espín es muy pequeña. Sin embargo, el caso de las aleaciones TR-MT puede ser muy distinto. Se trata de un campo sin explorar en el que, por otro lado, el papel de la anisotropía impuesta por la tierra rara (p. ej. Tb) puede dar lugar a una nueva fenomenología en el caso de que estos sistemas mostrasen magnetorresistencia por efecto túnel.

En estos sistemas granulares de TR, ahora tanto con matrices aislantes como conductoras, se estudia el acoplo magnetoelástico, partiendo del caso de las TR puras y de sus aleaciones con metales como el Fe y el Co, en los que como compuestos masivos se da una magnetostricción elevada. La interacción con la matriz metálica (p. ej. Mo, Ag, Cu) o aislante (p. ej.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ) puede dar lugar a un comportamiento magnetoelástico muy distinto al del material masivo.

Los comportamientos sobresalientes, origen del interés tecnológico de los sistemas aquí considerados, además de aspectos cualitativos de su composición, y por supuesto del tipo de superestructura (láminas, hilos, partículas, tipos de matriz, etc.) como materiales compuestos que lo son, dependen así mismo de su microestructura en el sentido clásico de la palabra. Este aspecto es bien conocido tanto en aleaciones como en cerámicas magnéticas de uso industrial (el procesado y microestructura afecta directamente a los parámetros magnéticos) pero también se ha mostrado crucial en las propiedades de magnetotransporte de sistemas granulares, que desde este punto de vista, subyace la importancia de las investigaciones sobre la correlación entre las dimensiones micro y nanoestructuras, resultado de los parámetros de síntesis y procesado de las aleaciones involucradas, especialmente las granulares, y los comportamientos macroscópicos requeridos. El comportamiento estrictamente magnético es especialmente sensible a estas variaciones, ya que puede informar de forma global

sobre la microestructura, sirviendo como complemento a la información local que la microscopía electrónica, de fuerza magnética u otras técnicas sensibles en la nanoescala pueden ofrecer a la nanotecnología como tal.

### **Nanoestructuras magnéticas**

Su estudio está centrado en aplicaciones industriales orientados al almacenamiento de datos a nivel magnético, sensores magnéticos, ensambladores magnéticos túnel, memorias de acceso al azar y dispositivos espintrónicos. Se aplican métodos preparatorios, procesado nanoescalar, películas finas, partículas, alambres y puntos cuánticos, caracterización espectroscópica, micro/nanoestructuras, nanoestructuras semiconductoras, nanopartículas, nanoestructuras de carbono, teniendo en cuenta sus características físicas y potenciales usos industriales. Esta técnica está basada en fenómenos magnéticos, materiales magnéticos, ciencia de materiales, física de estado sólido, ingeniería electrónica y óptica, almacenaje de datos magnético y tecnología de la información.

A escala industrial, se usan los sistemas bidimensionales como las láminas delgadas (multicapas y superredes) y monodimensionales como los nanohilos, que se obtienen actualmente por una variedad de técnicas, como son:

#### *Multicapas y superredes.*

Las nanoestructuras constituidas por láminas delgadas de diferentes tipos de materiales metálicos son la base de los nuevos dispositivos basados en materiales artificiales inteligentes, en donde la composición de las capas pueden tomar parte en diversos metales de transición (3d) y aleaciones de los mismos, así como metales de Tierras Raras con alto grado de pureza y bien aleados con metales de transición.

#### *Tricapas de metales 3d.*

El estudio del magnetismo de los metales 3d (Fe, Co, Ni) es fundamental ya que al ser de los pocos metales que presentan momento magnético a temperatura ambiente son ampliamente utilizados en todo tipo de aplicaciones. Es

por ello que el estudio de los efectos debido a la tensión epitaxial o a la presencia de interfaces en capas finas de estos elementos se estudia y analiza cuidadosamente. En general, en un proceso de crecimiento epitaxial<sup>1</sup> si la diferencia entre los parámetros de red del elemento que se incorpora sobre un sustrato y éste es grande, la energía elástica se absorbe por la aparición de dislocaciones en unos pocos planos atómicos, sin embargo, se ha observado que en estructuras formadas por elementos con diferencias de parámetros de red del orden del 2 %, la deformación epitaxial se mantiene en un valor elevado de aproximadamente 1% en un rango de espesores de hasta 10nm. En capas finas de metales 3d epitaxiales esta tensión interna modifica la anisotropía magnética de tal manera que la imanación puede llegar a orientarse fuera del plano de crecimiento, como se ha observado en el caso de láminas monocristalinas de níquel. Este comportamiento sugiere la posibilidad de control de las propiedades magnéticas del material mediante la aplicación de una tensión interna inducida por el crecimiento epitaxial de una capa magnética sobre una capa con una composición seleccionada y por lo tanto la anisotropía magnética en algunos materiales.

#### *Multicapas y superredes de Tierras Raras – Metal de Transición.*

Las aleaciones  $TR_xTR'_{1-x}(M_zM'_{1-z})_n$ , (TR y TR' = Tierras Raras; M y M' = metales de transición) en su forma de compuestos masivos ("bulk"), son sistemas de elevada magnetostricción. En particular, una elección adecuada de las Tierras Raras y de los metales de transición, y de sus concentraciones, ha permitido obtener materiales con magnetostricción muy elevada en campos magnéticos moderadamente bajos y a temperatura ambiente. El interés que tiene la preparación y caracterización de materiales con magnetostricción gigante en forma de películas delgadas o multicapas radica en su utilización

---

<sup>1</sup> El crecimiento epitaxial significa el proceso mediante el cual una película orientada cristalográficamente crece sobre un sustrato monocristalino que le sirve como modelo y fija dicha orientación.

Si bien existen muchas variantes puede decirse que, fundamentalmente son los tres los métodos más ampliamente usados en la actualidad.

- Epitaxia en fase de vapor VPE.
- Epitaxia en fase líquida LPE.
- Epitaxia por haces moleculares MBE.

como actuadores, sensores y generadores ultrasónicos magnéticos en microdispositivos electromecánicos. En este sentido, el conocimiento en detalle de las propiedades magnetoelásticas básicas de dichas estructuras artificiales ha merecido una atención especial, dado que puede proporcionar indicaciones de qué tipo de materiales (Composición del intermetálico de Tierra Rara), sustratos (vidrio, metal, polímeros, etc), método de preparación, etc. son los más adecuados para lograr las características magnetoelásticas deseadas. Por ejemplo, se sabe que en superredes de Tierras Raras y películas epitaxiales, la deformación debida al desajuste de parámetros de red es responsable de que las fases magnéticas que se encuentran en esos sistemas artificiales sean diferentes de las que existen en los materiales masivos correspondientes.

El objetivo de este estudio está dirigido a la fabricación de nanoestructuras que incluirían películas delgadas con propiedades de imán permanente, con lo que se integraría en un solo conjunto el material magnetostrictivo y una película que produjese el campo polarizante, por ejemplo para discos duros macizos. La introducción de un bloque magnéticamente más blando entre las capas de un material duro podrá reducir substancialmente el campo coercitivo, lo que es deseable a la hora de minimizar las pérdidas magnéticas en los dispositivos.

### **Nanohilos**

El uso de materiales porosos como molde, permite preparar hilos de diferentes metales magnéticos que tienen un diámetro comprendido entre 6nm y 200nm, cuya longitud puede llegar a 20<sup>o</sup>m. Los hilos magnéticos representan un caso intermedio entre las partículas monodominio y los imanes macroscópicos. Por ello, su comportamiento magnético comparte características de ambos. En ausencia de un campo magnético, la anisotropía inducida por la forma favorece una configuración monodominio, en la que la imanación es paralela al eje del hilo, sin embargo, la configuración monodominio se puede romper durante el proceso de inversión de la imanación como respuesta al cambio del campo magnético aplicado. Cuando el diámetro se hace del orden de la anchura de una pared de dominio, el mecanismo más favorable es la nucleación de

un dominio de imanación invertida y el desplazamiento de una pared de dominio de Néel. Se pueden obtener nanohilos de Fe, Co y Ni de diámetro entre 6nm y 50nm en una matriz de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Los experimentos limitados a temperaturas superiores a 1.8 K, confirman el mecanismo anteriormente citado y muestran además que la tasa de relajación decrece al bajar la temperatura (Criogenía). Estos experimentos están también de acuerdo con simulaciones numéricas para nanohilos finitos. La nucleación de la pared ocurre preferentemente en los extremos del hilo y tiene lugar por activación térmica (alta temperatura).

El objeto de estudio es observar los mecanismos de relajación de la imanación de nanohilos de Fe, Co y Ni que oscilan entre 6nm y 100nm de diámetro preparados por electrólisis, también se investiga si la activación térmica da lugar a un mecanismo de efecto túnel incoherente, caracterizado por una tasa de relajación independiente de la temperatura, a temperaturas inferiores a 1 K. Este caso es de particular interés, porque demostraría la existencia de efecto túnel entre dos configuraciones magnéticas distinguibles que describen el estado físico de más de 10.000 átomos.

### *Nanocontactos*

Se ha puesto de manifiesto recientemente las extraordinarias propiedades de magnetotransporte que tienen lugar en las nanoconstricciones. Cuando un hilo metálico se llega a alargar tanto que el número de canales de conducción llega a ser contable, se puede llegar a observar la cuantificación de la conductancia. Al punto de la ruptura comienza el proceso de conducción por efecto túnel. Otra posibilidad de observación de estos fenómenos se puede llevar a cabo aproximando dos puntas de un metal hasta formar un contacto. Cuando los metales utilizados son ferromagnéticos la estructura de dominios en la región del nanocontacto tiene una gran influencia en las propiedades de magnetotransporte bien esté dominado por el régimen túnel o balístico. Se ha observado magnetorresistencia gigante a bajo campo en nanocontactos de Ni. La técnica de electrodeposición se puede utilizar para crear estos contactos de una forma estable.

*Nanofases y mesofases auto-organizadas.*

Este es un campo extenso y ha ampliado el campo de investigación de la nanotecnología escalar. Por una parte las fases de tamaño nano o mesoscópico se pueden obtener bien por la obtención de estructuras con carácter metálico, semiconductor o aislante utilizando técnicas de preparación de tipo físico o químico, lo que se podría llamar procedimientos extrínsecos y por otra parte, estas nano y mesofases pueden aparecer intrínsecamente en un sólido. Este último campo ha surgido con gran intensidad a nivel internacional, pues se propone la observación de inhomogeneidades intrínsecas que originan coexistencia de estados aislantes y paramagnéticos, coexistiendo con estados metálicos y ferromagnéticos (por ejemplo los sistemas en que se estudian son las manganitas de valencia mixta).

**Nanotubos**

Los nanotubos son el tercer estado del carbono, al igual que nanocristales, todos ellos tienen dimensiones que oscilan entre los muy grandes de 800nm hasta los más pequeños de 1nm. Se han identificado las firmas ópticas de 33 clases de nanotubos de carbono. Su obtención se efectúa al hacer pasar un arco eléctrico a través de dos barras de grafito, que al vaporizarlas se obtiene una masa tipo hollín cuya estructura cristalográfica es de 60 carbonos distribuidos en forma de bola llamada Buckybola o fullereno; que son macromoléculas, arreglos de carbono de dimensiones nanométricas que exhiben propiedades específicas: superconductividad térmica, eléctrica, alto módulo de Young, arreglos hexagonales y pentagonales específicos.

Los nanotubos de carbono de una sola capa, formados por configuraciones geométricas hexagonales de átomos de carbono, presentan un doble comportamiento como lo es de ser metálicos o semiconductores, y la diferencia radica en el diámetro del nanotubo y la helicidad que describe el ángulo de torsión del tubo haciéndolo elástico y resistente, a parte de no poseer defectos o dislocaciones lo hace poseer alta resistencia a las tracciones (100 veces mayor que el acero, pero con un sexto de su peso), alta deformación a rotura, presentan

propiedades mecánicas óptimas a nivel óptico, magnético y eléctrico fuera de lo común, lo que permite entre otras cosas llenarlos con moléculas metálicas, ya que estas no tienen ninguna interacción con las paredes haciéndolas ideales como lubricantes, o llenarlos con gases, como hidrógeno.

En aplicaciones fotovoltaicas, el diseño de síntesis de díadas y triadas de fullerenos de 60 carbonos pretenden revolucionar los acumuladores de energía creando materiales basados en metalofalocianinas, también pueden utilizarse para crear sondas no invasivas en materiales, desalinizar y purificar agua, sondear células, manipulaciones genéticas y de utilizarlos en la superficie de naves espaciales o para crear pistas electrónicas 100 veces más estrechas que las que existen en los circuitos de los microchips de silicio más avanzados hoy en día.

A nivel biológico se ha demostrado que al sintetizar moléculas con propiedades similares a las del ADN que se adaptan mejor a la estructura de los nanotubos, tienen más estabilidad térmica y están exentos de degradación enzimática. Además, esas moléculas, llamadas PNA, son compatibles con los disolventes orgánicos a los que están sometidos los nanotubos de carbono y facilitan su ensamblaje, convirtiéndolos en materia prima para la fabricación de biosensores, transistores de un solo electrón y otros dispositivos nanotecnológicos.

La tecnología de los nanotubos está usándose en prototipos de pantallas para publicidad, para celulares, monitores y televisión. Dependiendo de su aplicación los nanotubos se clasifican en cuatro familias:

- La primera es la de Carbono o gráfica, que es una malla tubular hexagonal abierta con infinidad de aplicaciones entre las más importantes está la Nanoelectrónica y la Física de Semiconductores.
- La segunda es de Boro Y Nitrógeno, su configuración es igual que el primero, pero con la diferencia que las moléculas de Boro y Nitrógeno ocupan de forma alterna los nodos de la red haciendo que ésta sea abierta. Por ejemplo el nitruro de boro tiene una alta estabilidad química, es un mate-

rial aislante y tiene propiedades refractarias, resistencia a altas temperaturas y fibras químicamente resistentes. Estos nanotubos pueden rellenarse con núcleos metálicos y no metálicos para formar estructuras en forma de cable para ser usados posteriormente como material cerámico en microelectrónica y como catalizadores (en el caso concreto de relleno con óxido de alfa-aluminio).

- La tercera es conocida como de Doble Capa Lipídica, que consiste en un sistema de moléculas carbonadas complejas unidas por medio de un nanotubo.
- La cuarta es conocida como Citoesqueleto, el cual es el armazón interno o bioestructura de las células y le brindan estabilidad y rigidez a parte que cumplen el papel de intercambiador de iones celulares.

Macro aplicaciones de nanotubos, se puede citar la de cables con altas propiedades mecánicas; los que podrían utilizarse en la construcción de puentes en suspensión, construcciones resistentes a impactos de terremotos o de elementos naturales, también se plantea como cables superconductores a temperaturas de alrededor de 20 Kelvin.

La propiedad de los nanotubos de sostener esfuerzos axiales en ciertos niveles, lo hace ideal para ser una útil como herramienta de sondeo microscópico, como sondas celulares para ingeniería genética, que inyecten directamente el material a la célula blanco sin perturbar a las demás. Sondas para explorar materiales sin dañarlos en la exploración, microfabricación rápida de mezcla de fluido para proteínas en experimentos de plegaduras, nanofabricación de series para sondear funciones celulares a nivel nanoescalar, sensores para neurotransmisores y detectores, nanotecnología para predicción de eficacia y toxicidad en drogas, propiedades de fabricación de materiales biodegradables, nanoestructuras para accesibilidad de transporte enzimático, ensamblaje nanoestructurado biológico, electroquímica y electrónica integrada para el uso como dispositivo biosensor paralelo, computación reversible (lógica reversible y lógica helicoidal).

Debido a su flexibilidad es posible utilizarlos como absorbentes de golpes. Se pueden utilizar para transmitir calor en una dirección, ya que tienen una gran conductividad térmica a lo largo del tubo. El objetivo es poder hacer nanoalambres que revolucionen la industria de ordenadores al crear procesadores y difusores de calor más pequeños que los actuales, envolviéndolos con boro-nitrato se hace posible aislarlos del ambiente.

Recientemente se estudia la posibilidad de la desalinización del agua y utilizarlos en plantas de tratamiento de aguas residuales. Debido a su gran conductividad y su razón de área a volumen los nanotubos son más eficientes en remover del agua sales y otros compuestos que el carbón.

En medicina, se plantea la posibilidad de utilizar nanotubos para enviar directamente a las células el material genético, a la par de tratar infecciones y otras enfermedades directamente en el foco de origen; con los nanotubos no se perfora la piel ni se dañan otros órganos, se dirige específicamente al blanco deseado.

### **Matrices nanométricas**

Frente a la preparación de materiales granulares en forma de película delgada se utilizan otras técnicas que permiten obtener pequeñas partículas de metales de transición (Mn, Fe, Co y Ni), de aleaciones y de óxidos. Para la obtención de estas partículas se ha desarrollado la preparación de materiales soporte de las partículas magnéticas, tales como las estructuras grafiticas y membranas zeolíticas.

#### *Estructuras grafiticas.*

El estudio está centrado en la influencia de los diferentes parámetros de producción (catalizadores metálicos, presión, gas inerte, flujo) sobre el crecimiento de nanotubos así como la eficacia de los diferentes métodos: arco eléctrico y láser, y por energía solar. La purificación de estas muestras es indispensable para desarrollar aplicaciones potenciales de nanotubos, ya que con cualquiera de los métodos de obtención utilizados hasta la fecha aparecen junto a los nanotubos, partículas nanografiticas, carbono amorfo y nanopartículas metálicas.

Además de la utilización en nanoelectrónica algunos de los usos que se prevén para los nanotubos incluyen:

- Uso como “Materiales Avanzados” para reforzamiento estructural de composites de bajo peso y alta resistencia, y fabricación de polímeros conductores.
- Almacenaje de energía (almacenamiento de hidrógeno en células de combustible y baterías de litio).
- Dispositivos ópticos y electrónicos (nanocomputadoras y pantallas planas), los puntos cuánticos funcionan como transistores solo cuando trabajan a unos varios grados kelvin por encima del cero absoluto, en cambio los nanotubos pueden trabajar como transistores a temperatura ambiente.
- Sensores químicos y biosensores.
- Dispositivos biomédicos.
- Conductores unidimensionales.

Los fullerenos y nanotubos proporcionan una importante base para la investigación en nanoestructuras pudiendo utilizarse como material de partida para síntesis de nanoestructuras vía autoensamblado. Debido a sus propiedades y simetría que son candidatos ideales, para actuar como alambres cuánticos, interconectores e incluso dispositivos para electrónica molecular.

#### *Fabricación y uso de películas cristalinas con poros de tamaño subnanométrico.*

Las membranas zeolíticas son estructuras bidimensionales con un espesor de unas pocas micras, constituidas por unidades estructurales cuyo tamaño de poro, dependiendo del tipo de zeolita, se sitúa entre los  $3\text{Å}$  y los  $8\text{Å}^2$ , debido a que estos poros son del tamaño de las moléculas, esta característica proporciona a los materiales zeolíticos la capacidad de llevar a cabo interacciones de alta selectividad con mezclas de compuestos, realizando separaciones a nivel molecular. La investigación está dirigida al desarrollo de nuevos procesos de fabri-

---

<sup>2</sup> Un Angstrom equivale  $1\text{Å} = 10^{-10}\text{ m}$ .

cación de películas zeolíticas sobre diferentes soportes, estudio de su escalado para producción industrial, producción de películas zeolíticas de tamaño de poro inferior a 3Å. Desarrollo de métodos para la producción de nanopartículas (<50nm para partículas de zeolita, <5nm para partículas de Pd). Métodos de deposición de nanopartículas sobre distintas superficies. Desarrollo de estructuras compuestas zeolita-Pd. Aplicación de membranas zeolíticas para llevar a cabo separaciones extremas (por ejemplo la eliminación de contaminantes a nivel de trazas en aire o en agua), y para la integración a nivel microscópico de procesos de reacción y separación.

#### *Metales 3d encapsulados en estructuras grafiticas.*

El descubrimiento de los fullerenos y estructuras grafiticas relacionadas (nanotubos, cebollas, carbón amorfo y cristales grafiticos) han dado un impulso inusitado a la física y química del carbono. Pues el objetivo es el de obtener y caracterizar pequeñas partículas magnéticas encapsuladas en matrices grafiticas, y a través de técnicas microscópicas se puede dar una descripción detallada del estado magnético de la nanopartículas y discernir sobre la posible presencia de carburos. La finalidad de estas investigaciones es por una parte estudiar el comportamiento magnético y la posibilidad de preparar bioferrofluidos, dado que las partículas magnéticas encapsuladas por carbón pueden ser emulsionadas en agua y de esta forma poder ser utilizadas en seres vivos con fines terapéuticos.

#### *"Clusters" de metales 3d en Zeolitas.*

Cuando el tamaño de las partículas es tan pequeño que están formadas por unos cuantos átomos, se habla de cluster, cuyas propiedades magnéticas cambian significativamente. No se está hablando del comportamiento superparamagnético, sino del momento magnético intrínseco de los átomos. En estos clusters la representación que se tiene del comportamiento en el sólido deja de ser adecuado, debido a que una gran fracción de los átomos se encuentra sobre la superficie donde la estructura electrónica es diferente a la del material masivo. Se han efectuado experimentos sobre clusters inestables en un haz molecular por desviación en presencia de un campo magnético con el fin de determinar su comportamiento con la materia.

*Desarrollo de sensores electroquímicos de selectividad mejorada mediante filtros moleculares.*

Dentro del campo de los materiales inteligentes existe un gran interés por la producción de sensores electroquímicos miniaturizados de bajo costo para aplicaciones industriales y domésticas. Aunque se han obtenido altas sensibilidades en la respuesta de sensores catalíticos basados en óxidos semiconductores dopados con metales nobles, el principal problema sigue siendo la falta de selectividad de éstos que reaccionan de forma similar ante una amplia variedad de sustancias. En este campo, se plantea el desarrollo de sensores de selectividad mejorada mediante deposición de películas de nanopartículas adsorptivas, o bien mediante el crecimiento de películas zeolíticas sobre el elemento sensor preexistente. Se pretende obtener una mejora en la sensibilidad de los detectores interponiendo un medio (filtro molecular) con propiedades especiales, de forma que sólo lleguen a las proximidades del detector (o que lleguen en mayor proporción), moléculas con unas determinadas características.

Es claro que al trabajar a tan pequeñas escalas no es nada fácil, pues los sistemas actuales, tales como los microcircuitos traban a una escala muy superior, su orden oscila entre los micrómetros ( $10^{-6}\text{m}$ ) y los 200nm aproximadamente. Para el grabado de una pastilla de silicio de un computador actual se utiliza la técnica de fotolitografiado, donde se realiza el circuito en el microchip. El fotolitografiado tiene un límite para desarrollar la impresión correctamente, y este límite lo dicta la longitud de onda del láser que graba el esquema del microcircuito en la película de polímero fotosensible, el cual se halla depositado sobre una capa de cromo y un sustrato de vidrio. Las zonas del polímero expuestas al haz se eliminan selectivamente. Las partes expuestas al cromo se eliminan también y el resto del polímero se disuelve, el resultado es una máscara equivalente a un negativo fotográfico. Cuando se dirige la luz UV, esta atraviesa los huecos dejados en el cromo. El esquema se reduce por medio de una lente que enfoca la luz sobre la capa de fotoresina que recubre la oblea de silicio. Las partes expuestas de la fotoresina se eliminan, lo que permite la reproducción del esquema en miniatura sobre los chips de silicio. El proceso continua hasta formar sustratos en la oblea, donde cada uno cumple la función de aislante y conductor eléctricos.

Actualmente con esta técnica se obtiene microprocesadores con más de 80 millones de transistores. Se calcula que en el 2015 tal número podría estar cerca de los 5.000 millones.

El haz de luz láser ultravioleta que ronda los 250nm, es demasiado grande para los propósitos de la nanotecnología. Otra opción que se ha planteado para reemplazar el láser son los rayos X, con longitudes de onda que oscilan entre 0,1nm y 10nm o por luz en el ultravioleta extremo, con longitudes de onda de 10nm a 70nm. El problema principal radica en que las lentes que se utilizan para focalizar los haces no enfocan los rayos X y son transparentes a la luz UV extrema, a parte de otros factores energéticos y de costos, que se deben considerar si se desea sacar partido a escala industrial.

Se han planteado algunos métodos que se hallan en proceso de desarrollo para construir estructuras de tamaño menor a los 100nm. No se profundiza demasiado en ellas, puesto que una descripción más detallada se sale del objetivo del presente trabajo.

Los métodos son:

- Fotolitografía
- Litografía blanda
- Métodos por sonda exploradora
- Métodos ascendentes.

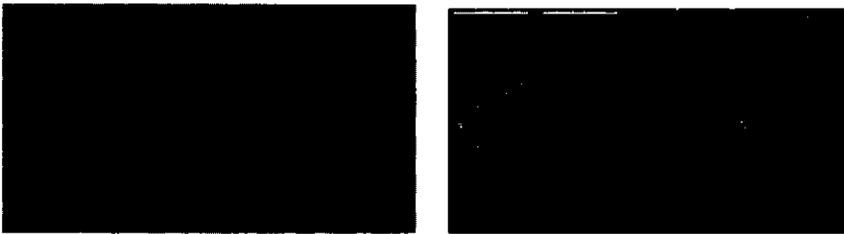
El primer método es muy similar al explicado arriba, la diferencia radica en el haz de luz a utilizar o los rayos X.

Los métodos segundo y tercero pertenecen al género de los métodos descendentes, es decir, separan o agregan moléculas a una superficie. El cuarto método ensambla átomos o moléculas para formar nanoestructuras.

Para poder aplicar los procesos dados, se requieren equipos de alto grado de precisión a escala atómica como son: el microscopio de barrido por efecto

túnel y el microscopio de fuerzas atómicas, que están acompañados por software diseñados para visualizar, diseñar y modelar moléculas.

El hecho que existan métodos experimentales para la nanofabricación no implica que todo está hecho, pues existen muchos interrogantes alrededor de estas técnicas, ya que al trabajar a tan pequeñas escalas, las leyes físicas clásica y cuántica se hibridan en una fase de mesoescala, donde existen muchos fenómenos que aun no se entienden por completo, lo que hace que la construcción de nanodispositivos no sean fiables u óptimos. Un ejemplo de ello es la comunicación entre el nanotubo y el macromundo, como son los sistemas microelectromecánicos **MEMS** y los sistemas nanomecánicos **NEMS**. Los dispositivos mecánicos configurados a partir de materiales ultrapuros y monocristales pueden contener muy pocos defectos cristalográficos o impurezas, ya que pueden fabricarse de materiales como silicio, arseniuro del galio y arseniuro del indio - las piedras angulares de la industria de la electrónica - u otros materiales compatibles. Como resultado, puede fabricarse cualquier componente electrónico auxiliar, como transductores y transistores en la misma pastilla. Un problema de estos dispositivos, que al parecer ya se está superando es que al disminuir la escala, aumentaban las pérdidas de energía sonora en proporción a la razón superficie/volumen que es cada vez mayor. Este resultado implicaba a las superficies en los procesos de pérdida de energía vibratoria de los dispositivos.



**Figura 8.** La primera fotografía es la de un micromotor, cuya aplicación está proyectada a sistemas nanomecánicos. En la segunda fotografía se muestra un dispositivo similar a una cadena de bicicleta, pero de tamaño inferior al diámetro del cabello humano, su aplicación es la de disminuir el número de motores que se necesitan para mover los micromecanismos de los MEMS. Aunque se pretende reducir más su tamaño, igual o menor al de una bacteria o una célula humana. Cortesía Ciencia Digital.

Prosiguiendo con las aplicaciones de la nanotecnología, hacen su aparición la *nanoelectrónica* y la *moletrónica*. Se plantean los nanodiodos, nanotriodos y los nanotransistores moleculares. El rotohexano y el bencenotiol son sistemas moleculares que van acoplados a matrices filares conectados a través de nanofilamentos que actúan como conductores y como componentes, es decir, como un interruptor electromecánico. Estos sistemas a diferencia de los dispositivos utilizados en microelectrónica trabajan con potenciales bajos, en el cual las leyes de la mecánica cuántica deben ser tomadas muy en serio, ya que el flujo de electrones no se comporta de la misma manera que a escala macroscópica. Bajo este principio se pretende mejorar de manera significativa las memorias masivas superando el problema del “efecto paramagnético” **ESP**; que consiste en un fenómeno físico que se produce en el almacenamiento de datos cuando la energía necesaria para la conservación del espín magnético de los átomos que constituyen un bit sea un 0 o un 1 vienen a coincidir con la energía térmica ambiental. Cuando ocurre esto, los bits experimentan cambios morfológicos estructurales en la superficie del disco, haciendo que se presenten inversiones de los ceros y unos con la degradación consiguiente de la información que representan. Actualmente se viene trabajando en el mejoramiento de los discos rígidos por diferentes frentes como son: discos duros rígidos hechos a base de materiales de tierras raras, sistemas magneto-ópticos, almacenamiento de datos holográficos, de medios configurados, medios plásticos, almacenamiento con resolución atómica y almacenamiento de datos con tarjetas perforadas, cuyos tamaños son nanométricos al igual que los métodos utilizados para la impresión de los bits. Estas nuevas técnicas están enfocadas a ofrecer rápidamente rendimientos económicos y poder competir con los discos magnéticos actuales en coste por Gigaocteto o Teraocteto de almacenamiento.

Otra aplicación de la nanotecnología relacionada con la computación es el almacenamiento de datos, donde los controladores de discos, han incorporado capas de sustrato nanométricos, con el fin de aumentar su densidad y así duplicar e inclusive cuadruplicar el almacenamiento. IBM en Zurich, trabaja en la miniaturización del registro de datos (Disco Duro). El sistema de almacenamiento conocido como “Millipede” está basado en un conjunto de 1024 agujas

de AFM (Microscopio de Fuerzas Atómicas) en una matriz cuadrada que pueden escribir bits de información de no más de 50nm de diámetro. El mismo conjunto es capaz luego de leer la información e incluso reescribirla. Estableciendo un paralelo de este sistema con el actual basado en la memoria magnética puede guardar alrededor de 2Gbits/cm<sup>2</sup>, e incluso puede alcanzar los 12Gbits/cm<sup>2</sup>. El "Millipede" puede almacenar entre 35Gbits/cm<sup>2</sup> y 80Gbits/cm<sup>2</sup> si se utiliza una aguja única. Si se llegase a utilizar millones de agujas, se podría lograr un almacenamiento del orden de los Terabytes, algo así como 40 veces lo que está disponible hoy comercialmente, aparte de la alta velocidad que tendría, que sería el doble de un disco actual (más de 15.000rev). Otra ventaja a parte del tamaño es su reducido consumo energético y su alta capacidad de memoria.

Con el "Proyecto Genoma Humano" la nanotecnología en conjunto con la biotecnología (nanobiología) ha crecido en su campo de acción, tanto así que se desea utilizar la información obtenida de *genoma humano* para crear una "máquina" de computo orgánico - molecular conocida como **computación ADN**, en la cual se utilizan fragmentos del código genético para crear iteraciones, donde su método de procesamiento es masivo trabajando en paralelo, haciendo que los cálculos sean mucho más rápidos que un sistema de computación convencional. Esto lo efectuarían las enzimas naturales en conjunto con las secuencias de los ácidos nucleicos (adenina, guanina, citosina y timina). Ya existen técnicas híbridas aplicadas a la medicina como son los Biochips usados en biología molecular, bioinformática, nanocristales semiconductores generadores de puntos cuánticos y en computación cuántica.

### Computación cuántica

Se clasifica dentro de los sistemas emergentes no lineales, cuyo procesamiento de información se efectúa por medio de los niveles de energía cuánticos de los átomos. La información se almacena en tres dimensiones y a diferencia de los sistemas de cómputo actuales que trabajan en código binario, o sea dos estados cero o uno, la computación cuántica opera con tres estados conocido

como Qubit, permitiéndole trabajar en paralelo a velocidades cercanas a la de la luz. Hasta ahora la computación cuántica está empezando a surgir, se han alcanzado algunos pequeños logros, lo cual indica que se va por buen camino. No es fácil debido a que se utilizan determinados átomos y las leyes físicas de la mecánica cuántica no son laxas en cuestión de medición y observación del sistema como tal (principio de incertidumbre, principio de superposición, principio de exclusión de Pauli). Si se llega a dominar este nuevo sistema de cómputo es obvio que la barrera con cualquier sistema informático actual o de seguridad a nivel mundial se verá en serios aprietos, debido a que la velocidad y almacenamiento de un computador cuántico es ilimitado prácticamente, haciendo posible entonces que este descifre códigos secretos en pocos minutos de cualquier sistema de defensa, bancario, comercial, industrial o gubernamental.

## NANOBIOTECNOLOGÍA

La nanobiotecnología (Nanotecnología + Biotecnología), es la integración de material biológico y no biológico, "lab-on-chip", sistemas de dispensación directa de medicamentos, manipulación y detección de moléculas biológicas, detección electrónica de material biológico, microfluidos, control del crecimiento de células en sustratos.



**Figura 9.** La nanobiotecnología promete entre sus investigaciones a futuro, el diseño y creación genética de seres, con cualidades físicas superiores a las de un humano normal (superhombres = homo nanobiotecnológico), virtuosos y por que no sabios, con facultades inimaginables para vivir en entornos adversos diferentes al de la Tierra.

La nanobiotecnología es una ciencia emergente muy poderosa por sus futuras implicaciones sociales, culturales, tecnológicas, religiosas y económicas. En el que países industrializados están en la vanguardia en la I + D de esta ciencia, tanto así, que una quinta parte de los negocios nanotecnológicos en los Estados Unidos (el 21%), usa nanobiotecnología para desarrollar productos farmacéuticos, sistemas de administración de medicamentos *in situ* e *in vivo* y otros productos relacionados con la atención de la salud. La Fundación Nacional de la Ciencia de Estados Unidos predice que el mercado de los productos nanoescalares alcanzará más de un billón de dólares por año para el 2015. Cifra por decir que es baja cuando el número de compañías que trabajan en este campo crece de manera vertiginosa cada año, al igual que el número de patentes. Actualmente mas de 160 compañías están produciendo nanopartículas en polvos, aerosoles y barnices, que están sirviendo como materia prima para la manufactura de anteojos ultralivianos a prueba de ralladuras y con propiedades ópticas de filtrado de radiación UV únicas, pinturas a prueba de grietas, antiestáticas y miméticas<sup>3</sup>, bloqueadores de sol transparentes, telas a prueba de manchas a parte de poseer nanopartículas químicas que miden el Ph (sudoración, hormonas) y cambian de color (materiales inteligentes) avisando al portador su estado metabólico, ventanas de automóvil limpiables y adaptables a sistemas de realidad complementada o adaptada, y otros productos más. Se estima que el mercado mundial para las nanopartículas crecerá entre un 13% y un 17% por año, superando los 1000 millones de dólares para el 2005.

A nivel general existen actualmente compañías y corporaciones privadas y gubernamentales en todo el mundo que le han apostado a la Nanobiotecnología y Nanotecnología, centrando sus estudios e inversiones a corto y largo plazo en ellas. Cabe mencionar algunas como son:

Acroos Barriers, Alcor, Cryonics Institute, Celera Genomics, Fenix, Genoscope, Hewlett-Packard, IBM, Inomat, Lucent Technologies, Molecular Nanosystems, Motorola, Nanobreath, Nanogate, NanoPhase Technologies, Nanosys,

---

<sup>3</sup> Cambio de color según el ángulo con que incida la radiación solar.

Nano-X, Nantero, NASA, NBTC, Nabitotechnology Center, Nec, Nexia Biotechnologies Inc, Pharmacelsus, Samsung, Sanger Center, U.S. Army Soldier Biological Chemical Command (SBCCOM), U.S. Defense Advanced Research Projects Agency, Quantum Dot, Zyvex, Carbon Nanotechnologies, NanoThinc, Mitre Corporation, Molecular Electronics Corporation, L'Oréal, Gilead Sciences, Cisco Systems, Hitachi, Mitsubishi, 3M, Nanomatrix, Inframat.

En otros campos la nanobiotecnología va a tener fuertes impactos en la alimentación y la agricultura, tal como la biotecnología en sus inicios, y es de ser así, ya no se están modificando las moléculas de las células sino átomos, ya las moléculas no actúan por reacciones químicas naturales sino por reacciones químicas artificiales controladas. Su radio de acción crece cada día al igual que la nanotecnología, donde los ensambladores y autoensambladores juegan un papel fundamental en esta tarea de fusionar lo vivo con lo no vivo. Por citar algunos ejemplos tenemos: plásticos auto limpiables con enzimas incorporadas, diseñadas para atacar la suciedad al entrar en contacto con ésta, se plantea el uso a gran escala de nanotubos aplicados a la ingeniería aeronáutica (fuselajes más livianos y resistentes, materiales absorbentes a la radiación electromagnética proveniente de radares y materiales abrasivos entre otros), motores moleculares para aplicación médica y farmacológica, obtención de productos plásticos por medio de modificación genética de bacterias, bioelectrónica, optimización del trabajo efectuado por nuestros órganos y tejidos por medio de nanomecanismos como los respirocitos (glóbulos rojos artificiales capaces de transportar más de 236 veces oxígeno hacia los tejidos que los glóbulos rojos naturales), el cual cuenta con un nanoprocesador integrado, que puede ser reprogramado a control remoto mediante señales acústicas externas; los vasculocitos, microbots moleculares que limpiarían las arterias afectadas por arteriosclerosis.

### **Nanobioingeniería y aplicaciones biomédicas (Nanomedicina)**

Un amplio campo de investigación utilizando los recursos y técnicas utilizadas en la nanociencia se abre en al campo de las ciencias biomédicas. Las barreras que delimitan las ciencias tradicionales aparecen cada vez más

difusas en esta área. Se destacan varias líneas de potencial desarrollo en esta área.

*Construcción de materiales a nivel nanométrico mediante Ingeniería de Proteínas.*

Las proteínas son las encargadas de llevar a cabo los distintos trabajos que las células necesitan para cumplir su función dentro del organismo. Es responsabilidad de las proteínas degradar de manera gradual una molécula que se utiliza como alimento, lo mismo que lo es la síntesis de todos los materiales que forman la célula. En algunos casos las funciones de las proteínas van más allá de propiciar una reacción química en un compuesto químico: son las encargadas de captar la luz para que se produzca un impulso eléctrico que traduzca la imagen de un objeto en el cerebro o bien que sea conservada como una forma de energía. Las hay en forma de filamentos resistentes para llevar a cabo un trabajo mecánico o bien forman mecanismos mecánicos capaces de realizar un trabajo.

Mediante las técnicas de Biología Molecular se pueden cambiar algunos elementos de las proteínas, producir mutaciones específicas, que alteran las propiedades de estas proteínas. Cuando esos cambios se llevan a cabo desde el conocimiento de su estructura se puede transformar la proteína de manera racional para llegar a diseñar un dispositivo que tenga una determinada utilidad para el hombre. Los cambios que se pueden llevar a cabo sobre una proteína pueden consistir en cambiarle su capacidad para reconocer un determinado compuesto para que actúe sobre otro diferente que tenga interés industrial. También se pueden inmovilizar sobre superficies no biológicas como pueden ser electrodos con los que intercambien electrones o partículas magnéticas de manera que la acción de la proteína se pueda dirigir aplicando campos magnéticos sobre ellas. O bien se puede conseguir fijar sobre un soporte una proteína que produce un giro sobre sí misma de manera que se obtenga un auténtico motor giratorio. La lista de aplicaciones sólo está limitada por la imaginación porque en la naturaleza se encuentran proteínas en número tan elevado y con funciones tan diversas que su utilidad y aplicación es tanto médica como

industrial. El panorama de las aplicaciones de las proteínas modificadas se amplía de manera extraordinaria cuando se combina con la fabricación de nuevos materiales que permitan la construcción de dispositivos nanométricos. Ello implica que se trabaje con dispositivos que contienen moléculas individuales de proteínas.

Por lo tanto, el objetivo de las investigaciones está dirigido al conocimiento de los mecanismos de actividad, la modificación de su capacidad de reconocimiento por parte de sus sustratos (cambio de especificidad) y su acoplamiento a superficies metálicas de electrodos de forma que se produzca intercambio de electrones entre ambos. Para ello se emplean métodos aplicados en la ingeniería genética como son la clonación de las proteínas en cuestión, determinación de sus estructuras cristalinas, y su modificación química.

#### *Aplicaciones biomédicas*

Las posibles aplicaciones de la Nanotecnología en el campo de la Medicina son muy diversas y por tanto pueden implicar a casi todas las especialidades biomédicas.

Ante tal dispersión de posibles aplicaciones e intereses, parece sensato establecer unos vínculos de trabajo a dos diferentes niveles: Uno, a nivel de las ramas médicas básicas (fisiología, bioquímica, inmunología, farmacología), y otro, a nivel de las ramas médicas aplicadas (especialidades médicas y quirúrgicas). Los especialistas médicos de las ramas básicas podrán participar directamente en el desarrollo de la Nanobiotecnología y sobre todo actuar como interlocutores o intermediarios de posibles objetivos o aplicaciones entre los físicos, químicos e ingenieros y los clínicos o cirujanos. Las líneas en las que pueden verse más implicados son las de la síntesis de nanoestructuras orgánicas o inorgánicas (nanorobots), la biología molecular, la terapia génica, la vehiculización de fármacos y en el diseño de nuevos fármacos, marcadores o medios de contraste, ingeniería de precisión, optoelectrónica, electromecánica y desarrollo de sistemas electrobiológicos.

*Sensores y actuadores inteligentes para aplicaciones industriales y biomédicas.*

Los materiales “inteligentes” son aquéllos que convierten energía eléctrica, magnética o térmica en energía mecánica, o viceversa, siendo por tanto muy interesantes para la realización de microactuadores o sensores, en los que es fundamental que, no sólo las dimensiones, sino también el número de componentes que intervienen en el dispositivo sea el mínimo posible. Los fenómenos físicos asociados a los citados materiales son, respectivamente, la piezoelectricidad, la magnetostricción y el efecto de memoria de forma. La utilización en la tecnología de microsistemas, de aplicación industrial o biomédica, de materiales “inteligentes” preparados en forma de películas delgadas es uno de los campos de aplicación de las investigaciones sobre materiales preparados en forma de películas delgadas y multicapas, concretamente materiales magneto-estrictivos.

Los procesos de fabricación de películas delgadas en pulverización catódica son fácilmente trasladables al entorno empresarial y permiten obtener una variedad de materiales artificiales con control nanométrico. Esta tecnología se integra en dimensiones milimétricas de forma sencilla, es compatible con las tecnologías de microsistemas, evita procesos de ensamblaje complejos y permite la producción de nuevos materiales nanoestructurados, como las multicapas, que presentan propiedades mejoradas respecto de los materiales masivos constituyentes. Las pequeñas dimensiones y la facilidad de integración de estos microactuadores y microsensores “inteligentes” los hacen atractivos para numerosas aplicaciones.

La combinación de mecánica y electrónica en estos microdispositivos (MEMS: “Micro Electro Mechanical Systems”) está originando una tecnología en la que microactuadores, microsensores y dispositivos de control, desarrollados para ser guiados, navegar, controlar movimientos y detectar flujo de fluidos con alta resolución, pueden proporcionar información muy detallada de procesos y fenómenos que ocurren a muy pequeña escala. Estas micromáquinas “inteligentes” tienen características y precisión imposibles de alcanzar con otro tipo de sistemas.

Se está produciendo un cambio a una escala inferior son los llamados NEMS (“Nano Electro Mechanical Devices”). En este campo la nanociencia tendrá mucho que decir.

Las aplicaciones de estos dispositivos en sistemas biológicos (“**BIOMEMS**”) son también muy prometedoras (microcontroladores de flujo para dosificación optimizada de fármacos, microinstrumental quirúrgico para cirugía mínimamente invasiva, ingeniería del ADN, etc.

#### *Técnicas médicas de diagnóstico y terapéuticas utilizando ferrofluidos*

Los ferrofluidos o magnetofluidos son suspensiones coloidales de partículas magnéticas nanométricas de gran interés para aplicaciones industriales en mecanismos altamente sofisticados. Se destaca su aplicación en cierres de alto vacío, altavoces de alta calidad, cierres herméticos en brazos robóticos en “cámaras limpias”, amortiguadores inerciales en lectores ópticos, etc. En general estos ferrofluidos utilizan solventes orgánicos como queroseno. En la actualidad existe una gran demanda de ferrofluidos para aplicaciones de tipo médico y biológico, ello supone que las partículas magnéticas han de ser emulsionadas en líquidos biocompatibles y que no produzcan toxicidad en los organismos vivos. Una de las formas más efectivas para lograr esto es el encapsulamiento de las partículas en materiales biocompatibles.

El reciente avance en las investigaciones en fullerenos ha llevado a obtener nanotubos y otras estructuras gráficas que permiten encapsular nanopartículas magnéticas para la posterior preparación de bioferrofluidos por su simple disolución en agua. El número de aplicaciones biomédicas de estos materiales está incrementando considerablemente, en las que cabe destacar:

- Incremento del contraste de tejidos en técnicas de análisis de resonancia magnética nuclear.
- Suministro de fármacos a lugares específicos del cuerpo.
- Localización de tumores y su destrucción mediante aplicación de campos electromagnéticos de radiofrecuencia.

- Separación celular.
- Actuadores y dispositivos (posibilidad de actuar externamente mediante la acción de un campo magnético).
- Evitar disfunciones de los órganos (esfínteres artificiales para evitar la incontinencia urinaria).

Todas estas aplicaciones están condicionadas al desarrollo de bioferrofluidos de mayores prestaciones en cuanto al producto energético magnético, tamaño de partícula y tipo de encapsulamiento.

### **Otras líneas**

Se enuncian a continuación algunas líneas de investigación que también son objetivos en el área de Nanociencia:

#### **Motores Moleculares:**

- Nanomáquinas impulsadas por ATPasa como Motor Rotatorio.
- Nanomáquinas impulsadas con Motores Moleculares Lineales.
- Dinámica Intracelular: Quimiotaxia (en espermatozoides, es el mecanismo celular que trata básicamente del movimiento direccional de dicha célula sexual) y Migración celular.
- Desarrollo de Dispositivos de Nanofabricación basado en microtubulación.

#### **Microanálisis de Biomoléculas:**

- Microfabricación rápida de mezcla de fluido para proteínas en experimentos de plegaduras.
- Nanofabricación de series para sondear funciones celulares a nivel nanoescalar.
- Sensores para neurotransmisores y detectores.
- Nanotecnología para predicción de eficacia y toxicidad en drogas.
- Propiedades de fabricación de materiales biodegradables.
- Electroquímica y electrónica integrada para el uso como dispositivo biosensor paralelo.

#### Superficies Bioselectivas:

- Crecimiento de células nerviosas por medio de micromodelado de sustratos.
- Reconstrucción de la barrera hematoencefálica.
- Crecimiento y desarrollo de superficies biointeractivas.
- Reacciones celulares topográficas y Bioquímicas.
- Micromodelado de superficies sinápticas sintéticas.
- Desarrollo de biosensores celulares.
- Nanobiohíbridos: nuevos genes y sistemas de entrega de droga.

#### Aislamiento Celular:

- Aislamiento y caracterización de la estructura celular y sus funciones inmunológicas.
- Análisis subcelular de la distribución molecular y comportamiento de las células en un sistema ordenado.
- Aislamiento y caracterización de células fetales y células cancerígenas.

#### Filtración Molecular:

- Modelado de sistemas de cribado molecular Polimérico.
- Tubos poliméricos para separación molecular.
- Membranas semipermeables y diálisis de equilibrio.
- Investigación de las propiedades de filtración de colágeno en silicio.
- Nanoestructuras para accesibilidad de transporte enzimático.
- Purificación de proteínas de alta definición que usan bloques de copolímero derivado de materiales de tipo silicio.
- Separación multidimensional microescalar de fluidos proteicos cerebrospinales.

#### Plantillas Moleculares:

- Arquitecturas poliméricas nanoescalares para procesos biológicos.
- Funcionalización de modelos superficiales de plantillas moleculares.
- Funcionalización directa de series de modelos vía polimerización superficial.
- Dinámica nanoestructurada espacio-temporal para señalización de inmunoreceptores.

- Diseño microescalar estructurado de sistemas poliméricos.
- Desarrollo de modelos para señalización celular.
- Ensamblaje nanoestructurado biológico.

Existen otras proyecciones de aplicación de la nanotecnología como son: en la investigación espacial, comunicaciones, biomedicina, control de procesos industriales, cristalografía, biotecnología, química supramolecular, ingeniería de proteínas, detectores biomoleculares o biosensores, detección personalizada de ADN o su modificación, angiogénesis (técnica que permite implantar en el corazón infartado a través de micromáquinas llamadas *angiochips*<sup>4</sup>, *nanoneurología*<sup>5</sup>, *nanoenfermeros* (eliminarían la cirugía, serían rastreadores y destructores de virus y células cancerígenas, al igual que eliminarían los efectos de envejecimiento celular), materiales nanoestructurados resistentes y duraderos no destructivos ni dañinos para el medio ambiente.

Investigaciones varias relacionadas con lo expuesto anteriormente cabe mencionar:

- **Materiales Magnéticos Moleculares:** Desarrollo de la ingeniería molecular encaminada a obtener imanes de alta temperatura de orden.
- **Sistemas mesoscópicos magnéticos:** Estudio y desarrollo de nuevos sistemas para la observación de los fenómenos de túnel magnético de la imanación. Evolución hacia el desarrollo de la computación cuántica.
- **Transporte electrónico de biosistemas:** Dinámica de los electrones e iones en sistemas biológicos, comprensión teórica de estos procesos.
- **Estructura, propiedades mecánicas y tribológicas de recubrimientos para aplicaciones en la industria.**
- **Recubrimientos nanoestructurados (multicapas y nanocompuestos).**
- **Propiedades superficiales y de interfase de nanomateriales.**

---

<sup>4</sup> Nuevos vasos sanguíneos para reemplazar a los destruidos.

<sup>5</sup> Formulado por el autor, en el cual se plantea el uso de ensambladores y autoensambladores en la corteza cerebral dañada, donde se espera regenerar y potenciar las funciones perdidas de ésta.

- Aspectos de ingeniería de superficie para aplicaciones en microelectrónica.
- Deposición de recubrimientos multicapa y de composición graduada.
- Síntesis y caracterización de materiales superduros.
- Recubrimientos duros para tecnología de medios magnéticos.
- Recubrimientos nitruros-carburos-óxidos-boruros.
- Películas sólidas lubricantes.
- Recubrimientos resistentes a la corrosión y oxidación en medios severos.
- Caracterización de recubrimientos incluyendo métodos no destructivos in-situ.
- Experimentos de nanoindentación y su modelado.
- Propiedades de interfase y su modelado.
- Modelamiento atómico y continuo de propiedades y desempeño.
- Tecnologías de ingeniería de superficies para aplicaciones dirigidas: automóviles, biomédica, ambiental, etc.

A escala industrial referente a los a medicamentos se pretende por medio de la nanotecnología, la construcción átomo a átomo de moléculas complejas que hacen las funciones primordiales de la vida (por ejemplo la insulina). El logro de este objetivo será un avance para la medicina, puesto que simplificaría los procesos que se requieren para obtener las complejas drogas que componen hoy los medicamentos y pondría al alcance de la ciencia una enorme cantidad de proyectos hoy imposibles.

Otras investigaciones que se hayan actualmente en desarrollo en diferentes áreas de la ciencia son: Estructuras nanoescalares poliméricas, síntesis de materiales catalíticos nanoestructurados, aplicación del STM a la caracterización de estados de superficie, estudio de las propiedades electrónicas de superconductores con el STM, estudio de la estructura de membranas biológicas con AFM, fabricación de nanoestructuras magnéticas sobre aislantes, medición de magneto-estricción con un AFM, estudio de la estructura de capas delgadas de líquidos sobre superficies con AFM, materiales magnéticos grabables de alta densidad, cinética de oxidación local en Si con AFM, nanohilos magnéticos, efecto de la dispersión electrónica en las fronteras de grano en materiales

nanoestructurados, biocompatibilidad del colágeno en películas de LBL estratificadas con nanopartículas semiconductoras, predicciones de nuevos estados cristalinos para ensamble de nanopartículas (Perovskitas y series en 3-D de nanohilos en congregaciones microscópicas), nanotubos de carbono como estructura nanoescalar de dispositivos cuánticos, encadenamiento y agregados de estructuras de películas Poly (p-phenylene Vinylene), predicciones en el comportamiento de agujeros en nanocristales, sensores electroquímicos nanoestructurados basado en películas de nanopartículas de oro densa, efectos del O<sub>2</sub> como absorbente y propiedades de emisión de campo del carbono, estudio de la teoría funcional sobre las densidades de los nanotubos, organización jerárquica de series de nanohilos para nanosistemas integrados, nanopartículas de vancomicina y sus actividades antimicrobiales, emisión óptica de polímeros conjugados adsorbentes de alúmina por medio de nanoporos, conjugación nanoestructurada de materiales por litografía controlada por reactividades químicas generalizas en superficies (nanotubos de carbono, dependencia de temperatura y morfologías de óxido de silicón, catálisis y ensamble de nanohilos de galio fundido), síntesis monodispersa de nanopartículas de paladium, deposición de capa atómica de nitruro de tungsteno, propiedades mecánicas de nanorizos de carbono, microanillos orgánicos ópticamente activos, orientación cristalográfica de crecimiento de nanobarras en catalizadores de estaño, diseño de arquitecturas nanoestructuradas tridimensionales (Catalizador carbono-sílice y compuesto modificado de aerogeles).

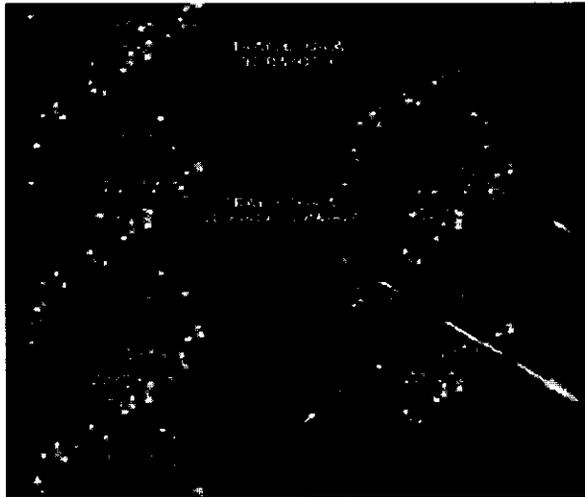
### **Repercusiones de las investigaciones en aplicaciones industriales y biomédicas**

Los resultados derivados de las líneas de investigación descritas anteriormente tendrían incidencia en diversos campos tecnológicos en los que la miniaturización y las propiedades específicas de materiales nanoestructurados desempeñan un papel relevante. La mayoría de ellos se enmarcan en lo que se consideran “nuevas tecnologías”, o “tecnologías emergentes” tanto de la información y las comunicaciones, como industriales o biomédicas.

Por ejemplo, en lo concerniente a la detección, diagnóstico y terapéutica de enfermedades, al igual que reparación de daños causados por enfermedades de tipo cancerígeno o neurodegenerativas, envejecimiento y accidentes. Se pretende emplear estructuras nanométricas, con materiales inorgánicos o nanopartículas las cuales liberarían el fármaco en el sitio indicado. Se plantean varias técnicas en pruebas *nanobiomédicas* como son etiquetas nanomagnéticas, repisas inteligentes revestidas con ADN, nanopartículas de oro ornadas con segmentos cortos de ADN, código de barras nanométricos; que son perlas de látex con los colores de unos semiconductores nanométricos conocidos como puntos cuánticos.

La NASA tiene un ambicioso programa, con miras de solucionar el problema de los daños ocasionados por la radiación del espacio en las células de los cuerpos de los astronautas, en particular su ADN el cual degenera en tumores o cáncer. La idea consiste en diseñar nanopartículas o nanocápsulas que se inyectarían directamente a la corriente sanguínea de las personas, de tal manera que estas identificarán las células dañadas por la radiación por medio de los marcadores, que son una clase particular de proteína llamada CD-95, las cuales se ubican en la parte externa de la membrana celular, luego de estar identificada, las nanocápsulas iniciarían la reparación de las células de forma individual o en su defecto, deshacerse de aquellas células que son propensas a mutar o que están muy dañadas.

Al implementar el uso de las nanopartículas, se evitará el uso de técnicas como la quimioterapia o radioterapia, las cuales como es sabido dejan como efecto secundario la muerte de células sanas, lo cual va en detrimento de la salud del paciente en la mayoría de casos según las dosis suministradas.



**Figura 10.** La radiación cósmica de alta energía produce daños en el ADN y hace que las células se comporten erráticamente, declinando con el tiempo en mutaciones y posteriormente en enfermedades cancerígenas o tumorales. Cortesía de NASA/OBPR.

Otro método que se está investigando en medicina usando la nanobiotecnología son las enzimas. Cada una de ellas es una factoría química completa reducida a una escala nanométrica. Estas enzimas han evolucionado durante miles de millones de años para lograr una fabricación ideal de productos químicos. Estas nanomáquinas moleculares son quienes hacen que la vida funcione. Estas investigaciones traen tras de sí implicaciones evolutivas sin precedentes, es decir, manipular las factorías químicas de la vida involucra cambios en las estructuras atómicas y moleculares de las células, y por ende, de las formas de vida macroscópicas. Se espera que mediante la manipulación a nanoescala de materiales biológicos sea posible:

- Producir ADN sintético a partir de esquemas de organización copiados de organismos naturales.

- Utilizar este ADN sintético para crear organismos vivos “únicos”.
- Construir nuevos aminoácidos artificiales que puedan transformarse en proteínas nuevas.
- “Diseñar” el código del ADN de la misma forma en que los programadores diseñan software
- Utilizar el ADN para construir nanomáquinas capaces de autoensamblarse exponencialmente
- Diseñar nanomáquinas con capacidad de autoensamblaje exponencial que puedan convertirse o funcionar en procesos de manufactura como motores, pistones, pinzas, etcétera.

Es innegable que el desarrollo de este tipo de tecnología requiere una investigación de base altamente especializada, ya que para lograr en la actualidad avances significativos es preciso obtener nuevos materiales, o estructuras formadas con ellos, con propiedades y características cada vez más complejas, exigiendo cada vez más a los dispositivos, tanto en sus dimensiones (reducción de su tamaño), como en las condiciones de trabajo de los mismos (mayor rendimiento).

## CONCLUSIÓN

La Nanobiotecnología empieza a generar críticas y acaloradas polémicas a nivel moral, ético, bioético y político, y en cierta medida a nivel filosófico, cultural, económico, social y religioso. Lo cual plantea una serie de interrogantes como son:

- ¿Cómo controlar algo que no se puede ver a simple vista?
- ¿Cómo restringir su uso?
- ¿Quién controla o controlaría a las compañías que trabajan en nanotecnología o nanobiotecnología con fines industriales enfocados al medio ambiente, humano o bélico?
- ¿Qué control se tomaría si la nanobiotecnología es usada como arma, o en el peor de los casos usada en terrorismo (nanoterrorismo)?

- ¿Cuáles son los límites de la nanobiotecnología? Si es que los tiene.
- ¿Habrá una nueva evolución de la vida y por ende una nueva evolución acelerada del hombre?
- ¿Qué comportamiento tendrán los nuevos entes biológicos creados artificialmente con respecto a su entorno?
- ¿Qué pasará con el orden global cuando los ensambladores y la ingeniería automatizada eliminen la necesidad del intercambio comercial?
- ¿Cómo cambiará la sociedad cuando los individuos puedan vivir indefinidamente? Ya sea por criopreservación o por la nanotecnología aplicada.
- ¿Qué haremos cuando los ensambladores no necesiten de la intervención o del trabajo humano?
- ¿Cómo el hombre podrá aprovechar la tecnología para mejorar la productividad, el ambiente, la salud y su felicidad a la vez?
- ¿Hasta que punto nosotros podremos estar en control, o los robots necesitarán de nosotros?
- ¿Quién tomará decisiones: las máquinas naturales o el hombre?
- ¿Cómo y de qué se alimentarán los nanorobots?
- ¿Qué fuente de energía van a utilizar los nanorobots para su funcionamiento? y ¿Cómo disipar el calor producido por tal número de operaciones?

Dar una respuesta a estas y muchas otras preguntas, sería irresponsable de mi parte, sólo el tiempo lo dirá, lo que si puedo afirmar es que la nanobiotecnología cambiará nuestras vidas y nuestro planeta, y está aquí para quedarse. Lo que no implica que debemos quedarnos de brazos cruzados a esperar que pueda suceder, por el contrario, se hace imprescindible que se tomen cartas sobre el asunto y se analice a fondo las implicaciones a futuro de la nanobiotecnología y nanotecnología en todos sus aspectos, ya que aun estamos a tiempo de hacerlo.

Los “productos nanotecnológicos” tienen riesgos evidentes, unos más inmediatos, su toxicidad intrínseca, y otros a un plazo más largo (“la plaga gris”). Las células de los seres vivos no los detectan como materia extraña y no desarrollan anticuerpos contra ellos, algunos materiales pueden penetrar fácilmente

en ellas, incluso en las células nerviosas (nanoesferas, ferrofluidos, puntos cuánticos), y acumularse en determinadas zonas, los efectos desastrosos que pueden tener directamente o si se asocian con algún patógeno o tóxico son evidentes. Existe otro riesgo a largo plazo como es el control y clasificación de humanos mediante nanosensores y nanochips, ya sea ejerciendo el control sobre la naturaleza en conjunto, dando a la ingeniería genética herramientas de precisión.

Las visiones pueden ser perturbadoras y en cierta medida apocalíptica a los nuevos avances que se vislumbran con la nanotecnología y la nanobiotecnología. Falta aún mucho tiempo para su desarrollo a gran escala, pero creo que al igual que se está haciendo con el mapa del genoma humano, es necesario plantear leyes internacionales o moratorias de ser preciso, que permitan controlar a las compañías y gobiernos que utilizan técnicas nanoescalares para crear productos sean cuales sean para evitar su mal empleo.

### **“UN PROBLEMA BIOÉTICO DE GRANDES PROPORCIONES”**

Se plantea a un futuro no muy lejano sistemas nanoscópicos que permitan ensamblar o autoensamblar estructuras usando como materia prima elementos del entorno (materiales inteligentes, materiales ensamblantes y autoensamblantes). La naturaleza muestra ejemplos claros de autoensambladores como son las gotas de lluvia sobre una hoja de árbol (autoensamblaje termodinámico), un embrión es un ejemplo de autoensamblaje codificado, al igual que las proteínas y las redes neuronales naturales. Es claro que si la comunidad científica logra comprender estos procesos naturales usando la Biotecnología y la Nanotecnología (*NANBIOTECNOLOGÍA*) se podrá crear y modificar el entorno al antojo, por lo cual será un paso decisivo en la evolución no solo de la especie humana sino de todos los seres que pueblan el planeta Tierra. Tanto así que el concepto de muerte quedará entre dicho, preservación de tejido e individuos ad infinitum “Criogenia”. La vejes será un sueño, “el hombre empezará a jugar a ser Dios”.

La Nanotecnología, la Biotecnología y la Nanobiotecnología son herramientas poderosas en el mundo de la ciencia y la tecnología, llevadas dentro del marco bioético aportaran grandes beneficios para la humanidad en todos los ámbitos científico y tecnológico. A la vez, de manera tácita formulará nuevos paradigmas concernientes a la forma de definir y ver la vida enmarcada en el contexto cultural, social, religioso y económico.

“El concepto que tenemos de vida y muerte como la conocemos ahora no volverá a ser el mismo, cuando la Nanobiotecnología evolucione y no sepamos diferenciarlos”.

“La Vida se torna Difusa, con características complejas, no lineales, emergentes y caóticas”.

Corresponde a la comunidad científica, universidades y estamentos gubernamentales de todo el mundo la responsabilidad de velar por el buen uso que se de a la nanobiotecnología, de tal manera que la investigación y desarrollo de la misma sea en beneficio de la humanidad. Por lo expuesto anteriormente, se evidencia que la nanotecnología ha empezado a generar una ola de cambios en nuestro entorno, de una escala atómica y molecular hasta escalas mesoscópicas y macroscópicas, el futuro será muy diferente al que conocemos hoy manipulando la materia para crear lo que se desee con un gasto mínimo de energía. Estamos en una etapa temporal interesante, podría afirmar que en cierta medida somos favorecidos por que estamos en un momento histórico sin precedentes, donde podemos determinar cual va hacer el destino de la vida en el planeta Tierra, llevar la ciencia y la tecnología a nuevos peldaños de desarrollo en el cual toda la humanidad se beneficie, o por el contrario, enmarcarlo en un sistema decadente en el que unos pocos se beneficien y terminen por hacerla colapsar.

Hace algunos años se pensó que la historia del medioambiente en clave entrópica subrayaba la depauperación de los recursos naturales y por lo tanto, traía consigo una pérdida de complejidad, una reducción de la diversidad natural o una “unificación biológica” que es irreversible. Es posible que esto sea

cierto pero con el advenimiento de la nanobiotecnología nosotros debemos esforzarnos por salvar hasta la última, e insignificante de las especies animales y vegetales, puesto que puede convertirse en una pieza clave para el equilibrio de un ecosistema o en la clave para encontrar nuevos fármacos contra muchas de las enfermedades que aun no tienen cura. Debemos tener claro que la biodiversidad no es una broma ni una moda, es un seguro de vida para nuestro planeta y para nosotros mismos.

Por último, está en nuestras manos mirar que legado dejaremos a las futuras generaciones, a nuestros hijos: Es una responsabilidad muy seria el analizar más a fondo las futuras implicaciones de la Nanobiotecnología en la vida.

De nuevo enfatizo, que es indispensable trazar unas directrices internacionales enmarcadas en el contexto bioético, ampliando sus fronteras, teniendo como referente que la vida al pasar de ser natural a “artificial” buscará ella misma emerger como un sistema complejo, no lineal y evolutivo autónomo, bifurcándose, emulando a la propia naturaleza. Pensar que nosotros tendremos el control absoluto de la materia y por ende de la naturaleza a esta escala por siempre, es bastante iluso.

Es necesario realizar un estudio más a fondo sobre las implicaciones de la I + D en nanobiotecnología tendientes a beneficiar la vida en todas sus formas. Que los nuevos sistemas u organismos vivos producto de esta ciencia sean o no autosostenidos, no impliquen a futuro mutaciones y transformaciones que conlleven a catástrofes biológicas sin precedentes.

“Tenemos la vida del planeta Tierra en nuestras manos y solo depende de nosotros poder vivir en armonía con los demás seres que la habitan, al fin y al cabo todos heredamos el mismo edén”.

## BIBLIOGRAFÍA

- ❑ MULHALL Douglas. *Our Molecular Future: How Nanotechnology, Robotics, Genetics, and Artificial Intelligence Will Transform Our World*. Prometheus Books, Amherst, New York, Hard Cover, 392 pages, 2002.
- ❑ NEWTON E. David. *Recent Advances and Issues in Molecular Nanotechnology*. Greenwood Publishing Group, Hard Cover, 306 pages, 2002.
- ❑ CAMERON David, “Walking small”, en el sitio web de Technology Review ([www.techreview.com](http://www.techreview.com)), 1º de marzo de 2002.
- ❑ EZZELL Carol. *La Proteómica en el Horizonte*. Investigación y ciencia. Junio 2002. Número 309. Pág. 46 – 53.
- ❑ National Nanotechnology Initiative ([www/nano.gov/2002budget.html](http://www.nano.gov/2002budget.html)) el 5 de marzo de 2002.
- ❑ CHOI, Charles, “Liquid coated fluids for smart drugs, food”, en United Press International ([www.upi.com](http://www.upi.com)), Nueva York, 28 de febrero del 2002.
- ❑ TINKER Natan, 2001 Business of Nanotech Survey, en NanoBusiness Alliance, octubre de 2001, p. 4.
- ❑ ROUKES Michael. *Nanoelectromechanical systems face the future*. Physicsweb. February 2001.
- ❑ *Nanotechnology the new engineering*. Scientific American. November 2001. Number 302.
- ❑ FREITAS Robert A. *How nanorobots can Avoid Phagocytosis By White Cells, part I. Zyvex Corp in conjunction with Foresight Update 45. IMM Report Number 27: Nanomedicine. 2001.*

- ❑ KONTZER, Tony, “Get the bugs in”(www.informationweek.com), 3 de diciembre de 2001. Informationweek.com es parte de la TechWeb Bussiness Technology Network.
- ❑ GRAHAM-Rowe, Duncan, “Lord of the Dance”, en New Scientist, 26 de mayo de 2001, páginas 22-23.
- ❑ TINKER Natan, 2001 Business of Nanotech Survey, en NanoBusiness Alliance, octubre de 2001, p. 6.
- ❑ SMALLEY, Richard E., “Of Chemistry, love and nanorobots”, en Scientific American, septiembre de 2001, p. 76.
- ❑ SMALLEY, Richard E., “Of chemistry, love and nanorobots”, en Scientific American, septiembre de 2001, p. 77.
- ❑ REED A. Mark. Tour M. James. *Computación molecular. Investigación y ciencia*. Agosto 2000. Número 250. Pág. 56– 63.
- ❑ MÁRQUEZ Jairo. *Nanoneurología. Nanotecnología Aplicada a las Neurociencias*. Revista INGENIUM. Universidad de San Buenaventura. No 1. Bogotá. Año 2000. pág 56 – 59.
- ❑ TOIGO Jon Willim. *La Crísis de las Memorias Masivas*. Scientific American. Julio de 2000.
- ❑ CHEMLA Y.R. Grossmann H.L poon Y. Mc Dermott R.Stevens R. Alper M.D. and Clarke J. *Ultrasensitive magnetic biosensor for homogeneous immunoassay. Proceeding of the national academic of sciences*.USA Vol.97. Number 27. 19 December 2000.
- ❑ TOIGO JON Willim. *La Crísis de las Memorias Masivas*. Scientific American. Julio de 2000.

- ❑ RIGOUTSOS, I., A. Floratos, L. Parida, Y. Gao and D. Platt, "The Emergence of Pattern Discovery Techniques in Computational Biology." *Metabolic Engineering*. 2(3):159-177, July 2000.
- ❑ RIGOUTSOS, I., A. Floratos, C. Ouzounis, Y. Gao and L. Parida, "Dictionary Building Via Unsupervised Hierarchical Motif Discovery in the Sequence Space of Natural Proteins." *Journal of Proteins: Structure, Function and Genetics*, 37(2), November 1999.
- ❑ RIGOUTSOS, I., Y. Gao, A. Floratos and L. Parida, "Building Dictionaries Of 1D and 3D Motifs by Mining the Unaligned 1D Sequence of 17 Archaeal and Bacterial Genomes." *Proceedings Seventh International Conference on Intelligent Systems for Molecular Biology (ISMB '99)*, pp. 223-233, Heidelberg, Germany. August 1999.
- ❑ FLORATOS, A., I. Rigoutsos, L. Parida, G. Stolovitzky and Y. Gao, "Sequence Homology Detection Through Large-Scale Pattern Discovery." *Proceedings 3rd Annual ACM International Conference on Computational Molecular Biology (RECOMB '99)*, Lyon, France. March 1999.
- ❑ FREITAS A. Robert. *Nanomedicine, Volume I: Basic Capabilities*. Vii + 509 pp, 200+ illustrations, 3728 references. Landes Bioscience: Georgetown, TX. 1999).
- ❑ HALPERIN L. James and Book Del Rey. *The First Immortal*. Published by The Ballantine Publishing Group, New York. 1998.
- ❑ ADLEMAN M. Leonard. *Computación con ADN*. La manipulación de AND orientada a la resolución de problemas matemáticos obliga a redefinir el término "computación". *Investigación y Ciencia*. Octubre 1998. Número 265. Pág. 20 – 28.
- ❑ GERSHENFELD Neil. Chuang L. Isaac. *Computación cuántica con moléculas*. *Investigación y Ciencia*. Agosto 1998. Número 263. Pág. 44 – 49.

- ❑ CRANDALL. *Nanotechnology: Molecular Speculations on Global Abundance*. Edited by BC Crandall. The MIT Press: Cambridge, Massachusetts; London, England. 1996.
- ❑ KRUMMENACKER Markus and Lewis James. *Prospects in Nanotechnology: Toward Molecular Manufacturing*. Edited by Markus Krummenacker and James Lewis, XVIII + 297 pages. Includes bibliographic references and index. John Wiley & Sons, Inc.: New York, Chichester, Brisbane, Toronto, and Singapore. 1995).
- ❑ DREXLER K. Eric. *Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation*. John Wiley & Sons, Inc.: New York, Chichester, Brisbane, Toronto, and Singapore. 1992).
- ❑ CRANDALL and Lewis James. *Nanotechnology: Research and Perspectives*. Edited by BC Crandall and James Lewis, ix + 381 pages. Includes bibliographic references and index. MIT Press: Cambridge, Massachusetts; London, England. 1992).
- ❑ DREXLER Eric. *Engines of creation: the coming era of nanotechnology fourth estate*. 1990.
- ❑ DREXLER K. Eric. *Nanotechnology. Engines of Creation*. Anchor Books/Doubleday, originally published in 1986.
- ❑ R. Gref *et al.*, "Stealth corona-core nanoparticles surface modified by polyethylene glycol (PEG): influences of the corona (PEG chain length and surface density) and of the core composition on phagocytic uptake and plasma protein adsorption," *Colloids Surf. B Biointerfaces* 18(1 October 2000):301-313.
- ❑ NSF, <http://www.wtec.org/loyola/nano/societalimpact/nanosipdf> *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*, NSF Report. 2001.

- ❑ Aclu, <http://www.aclu.org/congress/rightgenetics.html> and July 19, 2000 Letter to The Honorable Edward M. Kennedy Ranking Member Committee on Health, Education, Labor & Pensions, 428 Dirksen Senate Office Building Washington, D.C. 20510 <http://www.aclu.org/congress/l071900a.html>
- ❑ Kenneth Todar, "Evasion of Host Phagocytic Defenses," University of Wisconsin-Madison, see at: <http://www.bact.wisc.edu/microtextbook/disease/evadepphago.html>.
- ❑ Robert A. Freitas Jr., *Nanomedicine, Volume I: Basic Capabilities*, Landes Bioscience, Georgetown, TX, 1999. See at: <http://www.nanomedicine.com>.
- ❑ Robert A Freitas Jr. Article on the potential applications of advanced nanotechnology to dental care appeared in the November 2000 issue of the *Journal of the American Dental Association* (JADA). That article is now available from the JADA website (<http://www.ada.org/prof/pubs/jada/index.asp>). To access the article, click on the link for Archives, and choose the options for the November 2000 issue. In the listing of the issues contents, choose the Nanodentistry article. The article is available as either a HTML web page or an Acrobat PDF file.
- ❑ [www.campus/9468/nanotec.htm](http://www.campus/9468/nanotec.htm)
- ❑ [www.nanothic.com](http://www.nanothic.com)
- ❑ <http://www.qubit.org/>
- ❑ [www.invasivespecies.gov](http://www.invasivespecies.gov).
- ❑ <http://www.zyvex.com/nanotech/visuals.html>
- ❑ <http://www.imm.org/Parts/Parts3.html>

- ❑ <http://www.albanet.com.mx/articulos/cuantico2.htm>
- ❑ <http://www.aldeaeducativa.com/aldea/Articulo.ASP?which1=1013>
- ❑ <http://www.casanchi.galeon.com/fis/computa0.htm>
- ❑ [http://www.cienciadigital.net/enero2002/noticia\\_cuantico.html](http://www.cienciadigital.net/enero2002/noticia_cuantico.html)
- ❑ <http://www.eafit.edu.co/departamentos/cbasicas/investigacion/logico.html>
- ❑ [http://www.htmlweb.net/seguridad/varios/computacion\\_cuantica.html](http://www.htmlweb.net/seguridad/varios/computacion_cuantica.html)
- ❑ <http://www.imasd-tecnologia.com/imasd/ene02/0102ci1.htm>
- ❑ <http://www.qubit.org/>
- ❑ [www.bioinformatica.nl/](http://www.bioinformatica.nl/)
- ❑ [www.celeragenomic.com](http://www.celeragenomic.com)
- ❑ [www.bioinformatica.ufsc.br/](http://www.bioinformatica.ufsc.br/)
- ❑ [www.vwocampus.net/nvon/bijischoling\\_biotechnologie/inhoud\\_dag/bioinformatica.php](http://www.vwocampus.net/nvon/bijischoling_biotechnologie/inhoud_dag/bioinformatica.php)
- ❑ [www.cgb.cl/](http://www.cgb.cl/)
- ❑ [www.cmbi.kun.nl/edu/VWO/wat\\_is\\_bioinf.shtml](http://www.cmbi.kun.nl/edu/VWO/wat_is_bioinf.shtml)
- ❑ [www.accefyn.org.co/bioinfo/paraborrar3.htm](http://www.accefyn.org.co/bioinfo/paraborrar3.htm)
- ❑ [http://www.research.ibm.com/resources/news/20000815\\_quantum.shtml](http://www.research.ibm.com/resources/news/20000815_quantum.shtml)

- ❑ [www.bioinformatica.ufsc.br/](http://www.bioinformatica.ufsc.br/)
- ❑ [www.cgb.cl/](http://www.cgb.cl/)
- ❑ [www.cmbi.kun.nl/edu/VWO/wat\\_is\\_bioinf.shtml](http://www.cmbi.kun.nl/edu/VWO/wat_is_bioinf.shtml)
- ❑ [www.accefyn.org.co/bioinfo/paraborrar3.htm](http://www.accefyn.org.co/bioinfo/paraborrar3.htm)
- ❑ <http://www.inicia.es/de/proteoma/introduccion.htm>
- ❑ [http://www.cns.caltech.edu/~gabriel/educacion/quimica/t2\\_proteinas.htm](http://www.cns.caltech.edu/~gabriel/educacion/quimica/t2_proteinas.htm)
- ❑ <http://www.inicia.es/de/proteoma/estructuraproteinas.htm>
- ❑ <http://www.biomed.net/biomedica/d01040501.htm>
- ❑ <http://www.seis.es/inforsalud99/mo3/001sldo29.htm>
- ❑ <http://www.viasalus.com/vs/B2C/cn/enciclopedia/ESP/ency/articl/003003rev.jsp>
- ❑ <http://www.viasalus.com/vs/B2C/cn/enciclopedia/ESP/presentations/10244.jsp>
- ❑ <http://www.ugr.es/~eianez/Biotecnologia/clonembrion.htm>

## DIMENSIÓN BIOÉTICA DE LA REALIDAD VIRTUAL

*Gilberto Cely Galindo*

**E**l tema que nos convoca no deja de parecernos un poco extraño. ¿Qué tiene que ver la Bioética con lo virtual? Tanto la Bioética como la virtualidad son poco comunes en nuestro vocabulario y no es fácil la comprensión de ambas. Podría el título del presente ensayo caer en el esnobismo y, como tantos otros, ser promesa de mucho para salir con nada. ¿Por qué no hablar solamente de ética, a la cual estamos habituados, sin enredarnos en el imaginario colectivo de una Bioética referida a los temas sofisticados de la biomedicina y, peor aún, qué tendría que ver con esto lo que comienza a llamarse “cibercultura”?

Iniciemos diciendo que lo virtual es una realidad más de lo real. No es algo paralelo a la realidad física, ni mucho menos una fuga fantasmal de la misma. Lo virtual no es una especie de “fantasía” o de “ficción”, creado por exacerbación de la imaginación para engañar a los órganos de los sentidos, menos aún es un “ente de razón”, volviendo al argot de la filosofía escolástica. Es tan real lo virtual que ya podemos hablar de “cibercultura”,<sup>1</sup> como uno de los elementos

---

<sup>1</sup> “El término “cibercultura” es utilizado por diversos autores para globalizar una serie de fenómenos culturales contemporáneos ligados principal, aunque no únicamente, al profundo impacto que han venido ejerciendo las tecnologías digitales de la información y la comunicación sobre aspectos tales como la realidad, el espacio, el tiempo, el hombre mismo y sus relaciones sociales” (...) “Algunos autores, como Derrick de Kerckhove, definen la cibercultura como la tercera era de la comunicación, en la que se habría configurado un lenguaje todavía más universal que el alfabeto: el lenguaje digital. Una era que habría seguido a las de la oralidad y la escritura. Por su parte, Lévy afirma que las sociedades modernas hicieron surgir, por la

constitutivos de la Sociedad del Conocimiento, aquella que nos involucra a todos y que iniciamos el siglo pasado con el desarrollo vertiginoso de las tecnociencias que afectan sin piedad el mundo de la vida. Y no hay nada tan real como el mundo de la vida biofísica que habita nuestra casa terrenal y de la cual somos parte, sino también todo aquello no material y que constituye el mundo sorprendente de la vida cultural. La Bioética viene al cuidado de la vida toda.

### ¿CÓMO ACONTECE LA REALIDAD VIRTUAL?

El proceso milenario de cerebración de la especie humana ha ido desarrollando capacidades mayores de inteligencia del mundo circundante y del mundo interior, estableciendo diferencias entre ambos, cosa que no ocurría antes. El hombre y su entorno eran uno mismo y reinaba la ley de la jungla. Hemos ido pasando, a través del lenguaje y la cooperación, del pensamiento concreto al pensamiento abstracto, de lo real fáctico a lo real simbólico y/o virtual, de la conciencia refleja inscrita en la selección natural y común a todos los organismos vivos, a la conciencia intencional típicamente humana. La conciencia intencional es el espacio propio de la moralidad, que se ensancha y se espesa en la medida en que construyamos justas relaciones intersubjetivas que aporten a la convivencia social. El largo camino de cerebración que nos ha diferenciado de los otros seres vivos ha sido llamado “proceso de hominización”, pues nos constituye en *homo sapiens* y nos abre futuros hacia el *homo sapiens sapiens*, denominado “proceso de humanización”, dinámica teleológica de espiritualización del ser humano. La virtualidad se inscribe en esta dinámica. Al respecto, y citando a Lévy, Jaime Alejandro Rodríguez Ruíz, actual director del Centro

---

utilización de la escritura como el modo preponderante y valioso de la comunicación humana, una universalidad, totalizadora, por la cual a todo texto se le exige autoexplicación, y autosuficiencia, de modo que sus mensajes puedan circular por todas partes”. RODRÍGUEZ RUIZ, Jaime Alejandro, “¿Hacia una cultura electrónica?”, en *Revista Javeriana*, mayo 2002, Número 684, Tomo 138, año de publicación 69, p. 11. Lévy describe, en su libro citado en la bibliografía, la aparición de un tercer tipo de cultura humana: una nueva forma de “universalidad sin totalidad”, cuya base de expresión es el hipertexto y cuya estrategia es la conectividad y la interactividad.

Universidad Abierta de la Pontificia Universidad Javeriana, dice: “Lévy afirma que la virtualización afecta no solo a la información y a la comunicación, sino también a los cuerpos, la economía, la sensibilidad, la inteligencia e incluso aspectos colectivos como las comunidades, la empresa, la democracia, etc. La virtualización es simplemente la continuación expresa de la hominización”.<sup>2</sup>

Podríamos afirmar que en la era de la electrónica, de los computadores, de los viajes espaciales, de la biomedicina, de la inteligencia artificial, de Internet y de los medios masivos de comunicación social, toda la vida del hombre está mediada por la realidad de lo virtual, y que estas realidades tecnocientíficas no son otra cosa que expresiones muy altas de la inteligencia simbólica o espiritual de nuestra especie. Dichas mediaciones virtuales o simbólicas despliegan un poder fascinante, casi mágico, en el individuo y en el colectivo humano, hasta el punto de imprimir en ambos resignificaciones innovadoras de la manera ética como nos relacionarnos con el mundo, como deseamos vivir la vida y del modo como configuramos la arquitectura social. Estas mediaciones simbólicas novedosas provienen de los avances del conocimiento, el cual, en la contemporaneidad, se perfila como conocimiento del *saber-hacer*. El *saber* pertenece a las ciencias y el *hacer* a las tecnologías. De la íntima unión entre ellas dos emergen las tecnociencias, con su fuerza de conocimiento: innovador, operativo, útil, práctico, procedimental, transformador, competente, eficiente, eficaz y productor de riqueza. Dichas características movilizan el conocimiento hacia satisfacer los deseos inscritos en el corazón humano de mejorar la calidad de vida, dotándose de mejores condiciones de supervivencia para correr las fronteras de su existencia. Es lo que ha venido en llamarse “Sociedad del conocimiento”, también “Sociedad del riesgo”, puesto que conocimiento y riesgo van juntos exponencialmente, lo cual pide a gritos una ética nueva que se ocupe primordialmente del cuidado de la vida en todas sus manifestaciones.

---

<sup>2</sup> RODRÍGUEZ RUIZ, Jaime Alejandro, “¿Hacia una cultura electrónica?”, en *Revista Javeriana*, mayo 2002, Número 684, Tomo 138, año de publicación 69, p. 20.

## HABLEMOS ENTONCES DE BIOÉTICA

La sociedad se expone a mayores riesgos para sí misma y para el hábitat, cuanto más avanza en el conocimiento tecnocientífico, cuyo ejercicio político del mismo da lugar a consecuencias incalculables e incontrolables muchas veces. No era así cuando la ignorancia reinaba en nuestros antepasados remotos y sus vidas transcurrían lentamente a merced de las fuerzas ciegas de la naturaleza. En ese entonces, el hábitat tenía todas las de ganar en el proceso evolutivo guiado por el caos y el azar, y el hombre las de perder. Ahora ambos pueden ganar o perder, de manera vertiginosa y en proporciones macro, una vez que el ser humano ha ido haciendo ganancias prodigiosas en el desarrollo de su intelecto, las cuales son también en el ámbito de la libertad.

Con el desarrollo del conocimiento y de la libertad le hemos robado una buena porción al caos y al azar para convertirlo en moralidad; vale decir, en decisiones provistas de prevención de futuro, de cálculo de probabilidades, de estimación de costo-beneficio para el hombre y su entorno natural, y en asumir consciente y responsablemente las consecuencias de la acción. Esto es lo deseable. Pero..., el riesgo siempre va con nosotros y crece con el tamaño de las decisiones. Al mirar históricamente el proceder humano, sus errores y calamidades, cabe la pregunta ¿de qué sirven las gigantescas ganancias en conocimiento y libertad, si con ellas bordeamos atolondradamente el precipicio de posibles hecatombes, fruto de nuestra irrenunciable arrogancia de *homo sapiens*? Para prevenir estos peligros viene en auxilio la Bioética como conocimiento sapiencial que necesitamos para orientar correctamente el conocimiento tecnocientífico y la libertad. Sí que es necesaria la ética de la vida cuando accedemos cada vez más al inmenso poder de la realidad virtual que puede desviarse hacia daños irreparables del mundo de la vida.

## EDUCACIÓN VIRTUAL

Un especial interés nos merece la reflexión ética de la educación virtual. Existe un amplio espectro semántico para denominar las novedades en educa-

ción virtual y a distancia. Recordemos algunos: “educación mediada”, “tele educación”, “enseñanza y aprendizaje abiertos”, “enseñanza y aprendizaje virtual”, “estudio en casa”, “universidad o centro virtual”, “tele formación”, “tele enseñanza”, “tele aprendizaje”, “enseñanza semipresencial”, “educación o enseñanza distribuida”, “enseñanza o aprendizaje online”, “e-learning”, “formación basada en la Web”, “enseñanza virtual por Internet”, etc.

Las nuevas tecnologías virtuales aportarán un enorme valor agregado a la educación, en el momento en que los docentes las incorporen críticamente a sus prácticas cotidianas y eliminen dos prejuicios al respecto: la mala creencia de ser el maestro sustituido por dichas tecnologías, y la diabolización que de ellas hacen con infundados temores. Nunca el maestro desaparecerá de la escena educativa, simplemente asumirá nuevos y esperanzadores roles. La educación virtual siempre necesitará de quién eduque y a quién educar. Pero los modos de ser maestro y alumno, en la Sociedad del Conocimiento contemporáneo y del inmediato futuro, rompen el esquema tradicional. Los maestros que no den el paso a los nuevos roles y modos serán los que se quedarán por fuera del sistema, a sabiendas de que los niños y jóvenes actuales ya nacieron en la cultura tecnocientífica que soporta lo virtual y nadan en ella como pez en el agua.

Un alto porcentaje de la educación universitaria del inmediato futuro será mediada por lo virtual, especialmente aquella de tipo teórico que no requiera presencialidad física. En la universidad y escuelas tecnológicas, la enseñanza-aprendizaje de destrezas y habilidades que exigen íntima comunicación entre alumno y profesor serán difícilmente transferibles a tiempos y espacios virtuales, como son los laboratorios de experimentación, los de producción de materiales, las prácticas clínicas que tienen relación con salud humana y animal, etc. Aunque parte de la enseñanza de dichas destrezas podría ser adelantada virtualmente.

La educación primaria y secundaria que requieren de fuerte presencialidad para afirmar los procesos de socialización y creación de valores morales en los

niños y jóvenes podrán también echar mano de ayudas virtuales. Hay una creciente disponibilidad de computadores en educación, conectados a redes con razonable ancho de banda, también llamada autopistas de información. Las tecnologías de interacción digital, visual, sonora y textual, son cada vez más poderosas, sencillas y económicas de usar. A esto se suma la vigencia de enfoques educativos que centran el proceso en el estudiante, en la indagación, en la colaboración, en la vivencia de experiencias relevantes, en la construcción de conocimiento.

Se pueden apoyar vivencias con simuladores, juegos y múltiples mecanismos para ejercitaciones en línea; es posible hacer muy ricas discusiones, mediante la participación en foros, *chats* o con correo electrónico; las bases de datos y sitios Web con información multimedia, están a un “clic” cuando se hacen búsquedas con motores especializados.

Merced a la educación, en términos de transmisión de conocimientos y formación del carácter, las potencialidades internas del hombre se desarrollan, se autoafirman y exteriorizan dinámicamente en procesos de socialización, construyendo históricamente una comunidad moral de pertenencia. Cuando hablamos en perspectiva educativa de potencialidades, nos referimos específicamente a las funciones psicológicas superiores: inteligencia creadora de conocimiento nuevo, pensamiento lógico formal, memoria, aprendizaje de destrezas útiles para la supervivencia, formación de hábitos virtuosos, desarrollo de la percepción, etc. Todos estos son aprendizajes de aptitudes para la vida que se constituyen en competencias. Para ello se necesita un proceso educativo integral, típicamente socializante, por el cual las actividades como la preparación, la reflexión, la asimilación de influencias externas, la cooperación y el sentido de membresía social se realizan de modo voluntario e intencional. El objetivo de la educación es dotar al hombre de formación y perfeccionamiento que le permita vivir plenamente y realizarse existencialmente, de acuerdo con sus propios patrones de felicidad que no antagonicen con el común de expectativas de bienestar de los demás miembros de la comunidad. Luego este objetivo constituye la espina dorsal de la Bioética.

En este sentido, la educación integral es el resultado de dos acciones pedagógicas: *Instrucción* y *Formación*. En cuanto a lo primero, los medios virtuales son excelentes comunicadores de información, de contenidos instruccionales científicos, de innumerables conocimientos actualizados al alcance del movimiento de los dedos en un teclado y de la danza fascinante de imágenes y sonidos en el entorno de la pantalla.

Pedagógicamente, la tele educación y el ciberespacio gozan de recursos didácticos virtuales que superan por mucho las facilidades del aula de clase tradicional, al romper la dirección única de la comunicación tradicional cerrada cara a cara, emisor-receptor, y abrir infinitas relaciones conectivas e inteligentes que universalizan el mensaje, amplifican su efecto y dan lugar a una comunidad de miembros incontables, con niveles de pertenencia e identidad muy disímiles.

Estamos en la era de la conectividad, la interactividad y la hipertextualidad, entendiendo por esto último el acceso interactivo a cualquier información desde cualquier parte. Las principales tecnologías de los medios de información actual son ayudas al procesamiento, es decir, ayudas a la inteligencia artificial. Más aún, toda la actividad instruccional se enriquece con la interacción entre el receptor y el emisor de la información, con los hipervínculos con otras fuentes de información, con las innumerables bibliotecas virtuales, con el manejo del tiempo y espacio virtuales a favor de profesores y alumnos, con reducción de costos económicos, con apertura democrática a la confrontación ideológica y con el contexto lúdico y recreativo propios de la “cibercultura” hacia la cual nos está arrastrando la sociedad tecnológica digital. “Dery plantea varias de las características que podrían definir la cibercultura. Entre ellas destaca la efimerización del trabajo, la inmaterialidad de los bienes y el desvanecimiento del cuerpo humano. Algunos de los signos de la consolidación de esta cibercultura se encuentran en el uso cada vez más extenso del computador para desarrollar identidades y personalidades, cuya condición es “perder el cuerpo” electrónicamente y conectarse a través de sistemas hipertextuales. Dery menciona varias de las condiciones tecnológicas de esta revolución digital, tales como la realidad

virtual, las tecnologías de simulación en general y los soportes de comunicación hipertextual”<sup>3</sup>.

También estos medios virtuales permiten impartir información y educación en tiempo real sincrónico y diacrónico (en t.v. se denomina en vivo y en directo, por referencia a lo diferido), lo que dinamiza la participación social con el respectivo empoderamiento de personas y grupos en acciones democráticas amplias e interculturales. En consecuencia, hay que reconocer y agradecer las ventajas comparativas de la tele educación sobre las condiciones físicas del aula, en términos de instrucción de contenidos conceptuales de los programas académicos. La informática, Internet, los CD, los DVD, la radio, la televisión, y en general las imágenes visuales y auditivas de tipo digital, constituyen innovaciones tecnológicas que garantizan condiciones eficaces y eficientes de enseñanza-aprendizaje virtuales muy promisorias y esperanzadoras, con la ayuda de máquinas que cada vez son más inteligentes y vienen en auxilio de la mente humana.

La instrucción a distancia, dentro de un contexto de libertad y democracia, fomenta y fortalece la formación del espíritu investigativo y emprendedor porque enfatiza la autogestión y permite al estudiante desarrollar procesos de innovación tecnológica y productiva para dar soluciones acordes con las necesidades y posibilidades de los diferentes contextos. La realidad virtual abre nuevos caminos a la investigación y desarrollo.

Pero no todo es oro en polvo. Las acciones virtuales de transmisión de conocimientos a distancia dejan muchas dudas acerca del componente “formativo” de la educación, puesto que el principal medio de formación del carácter es la experiencia viva. Las relaciones dialógicas interpersonales padre-hijo, profesor-alumno, al igual que de los alumnos entre sí y de éstos con el entorno familiar extenso, son básicas para construir y afirmar valores en el proceso de

---

<sup>3</sup> RODRÍGUEZ RUIZ, Jaime Alejandro, “¿Hacia una cultura electrónica?”, en *Revista Javeriana*, mayo 2002, Número 684, Tomo 138, año de publicación 69, p. 15.

socialización. Estos valores conforman la “conciencia moral” desde las edades tempranas de la infancia, pero deben ser reforzados e ilustrados intelectual y experimentalmente a lo largo de la vida toda del individuo, ya que son necesarios para la convivencia justa y armoniosa en las nuevas situaciones éticas.

Más allá de la comunicación verbal y gestual de mensajes de tipo moral, es decir, de aquello que se considera bueno o malo para la persona y para la colectividad, la presencialidad física establece vínculos biográficos testimoniales que hacen viable, creíble y controlable el tejido social. Cuando hablamos de “formación”, en educación integral, nos referimos a que sin presencia intersubjetiva, sin relaciones cara a cara, sin compartir sincrónica y diacrónicamente el espacio y el tiempo, sin proyectos comunes y las tareas pertinentes para realizarlos, y sin los conflictos propios de la convivencia no hay posibilidad de convertir en realidades existenciales –en ¡hábitos!– los predicamentos teóricos de la instrucción en valores morales.

El mundo de la vida es mucho más que instrucción, que simple conocimiento abstracto de cómo vivir bien. Que mensajes bellos y moralizantes empaquetados en imágenes sugestivas de “power point”, como las que circulan por doquier en los correos electrónicos. El mundo de la vida es acción comunicativa hilvanante de vivencias emergentes, no siempre previsibles y regulables, de construcción dinámica de identidades personales y sociales que van articulando una axiología cultural con base territorial. El mundo de la vida se construye de manera virtuosa, quiero decir, con base en virtudes morales que van más allá de lo virtual.

Valores morales tan existenciales como: la compasión, la misericordia, la tolerancia, el reconocimiento mutuo que lleve al respeto y a la cooperación, la oblatividad, la humildad, la caridad, la fidelidad y tantos otros que hacen la vida amable y altruista parece que no tienen vitrina en la oferta virtual. No los encuentra uno en Internet. En consecuencia, la Bioética cuestiona esta descontextualización moral que la superoferta de mensajes virtuales indiscriminados establece en el mundo de la vida. En otras palabras, la prodigiosa cátedra de lo

virtual, que se ha convertido en el aula sin muros y para todas las edades, acontece con superávit de información y con déficit de valoración moral de la misma, lo que postula un posible detrimento educativo de la sociedad como un todo, desvanece al sujeto, enrarece el espacio de la cultura y desfavorece los altos ideales de la dignidad humana a los cuales debemos aspirar.

Quien acceda al aprendizaje virtual como medio educativo, se enfrenta a retos novedosos de auto aprendizaje, de ejercicio de la autonomía, de aprendizajes para discernir y ponderar la calidad de la información que tiene a su alcance en términos de qué es bueno y qué es malo, y de autorregularse en sus propósitos y métodos. Para todo esto, se requiere formación previa en principios, en criterios, en valores morales explícitos aprendidos pedagógicamente desde la primera infancia, en los ambientes familiares y escolares cara a cara<sup>4</sup>. También hay que advertir que lo que llamamos cara a cara, o presencialidad, no es garantía absoluta de transmisión de valores morales, porque también allí se cuelan muchos antivalores, de los cuales siempre ha padecido la sociedad. El debate al respecto sigue abierto.

## INQUIETUDES BIOÉTICAS QUE FLOTAN EN EL AMBIENTE VIRTUAL

1. El desarrollo del conocimiento virtual debe estar inspirado éticamente por la clara y explícita intención de hacer bien y no mal a todos y a cada uno de los seres humanos, y por la voluntad de servir a la verdad propiciando el mutuo conocimiento de los pueblos. Si esto fuese así, ¿cómo explicar la presencia de “*hackers*”, aquellos pequeños genios de la informática que meten sus dedos manipuladores por todos los recovecos del ciberespacio para demostrar su poder intervencionista, y de “*crackers*” que violan la

---

<sup>4</sup> Sobre este tema de la formación en valores, sugiero revisar los aportes de Kohlberg, en los “Seis estadios morales y sus contenidos”. Cfr. CELY GALINDO, Gilberto, *El horizonte bioético de las ciencias*, coeditado por CEJA y 3R-Editores, 5ª edición, Bogotá, 2001, p. 83-86.

seguridad legal y ética con conductas perversas: introducen virus no biológicos que destruyen tanto *softwar* como *hardwar*, transmiten información “basura” y desorientadora, incitan a la violencia, al terrorismo y al racismo, exhiben pornografía que corrompe la mente de los niños y enturbia más la de los adultos que disfrutan de estas patologías? Campean en el mundo virtual nuevas formas de delincuencia criminal con escasos recursos para controlarla<sup>5</sup>. ¿Qué hacer con aquellos que, violando los preceptos de la verdad y la justicia, hieren la fama de cualquier país? Como dice Mabel Paola López: “Las condiciones específicas del ciberespacio, como la poca experiencia sensorial, la flexibilidad de la identidad o el anonimato, la inexistencia del estatus, la trascendencia de límites geográficos o temporales y el acceso a múltiples relaciones, han puesto a la humanidad frente a nuevas emociones que elevan su nivel de creatividad, liberan las fantasías y tensiones y hasta pueden generar psicosis”. (UNPeriódico, Bogotá D.C., N° 46, mayo 18 de 2003, p. 10).

2. Es éticamente reconocido que el conocimiento tiene una hipoteca social. ¿Consideramos que el conocimiento y la libertad son bienes espirituales de toda la humanidad y no de propiedad exclusiva de una casta privilegiada? Si esto fuese así, ¿cómo aliviar los altos costos económicos de lo virtual que excluyen a las gentes pobres? ¿Cómo evitar que los medios virtuales se constituyan en fuentes de poder y dominación, de enriquecimiento de unos pocos y de empobrecimiento de las mayorías? ¿Cómo socializar el conocimiento para beneficio de todos?
3. El respeto y servicio a la verdad es un imperativo ético de la información y de la producción y socialización del conocimiento. La verdad viene de la mano de la libertad para buscarla y para socializarla. La verdad que tiene que ver con los hechos en sí, como la verdad que habla acerca de la naturaleza y destino de la persona humana, del bien común y del colectivo social. La realidad virtual se constituye hoy en día en el escenario público de mayor influencia política, donde se debate a los cuatro vientos las ideas

---

<sup>5</sup> Sobre las características de los delitos informáticos, recomiendo la lectura: GUTIÉRREZ PRIETO, Hernando, “Derecho y ciberespacio. Un primer enfoque”, en *Revista Javeriana*, mayo 2002, Número 684, Tomo 138, año de publicación 69, p. 24-32.

que harán bien o mal a los pueblos, de cara a las presentes y futuras generaciones.

Asistimos, en nuestros días, a una oferta sin límites de comunicación “de verdades transitorias” que dan lugar a la creencia de que todo lo que se informa vale por igual, que todo sirve a la verdad sin distinciones ni matices, más aún que no existen diferencias entre lo cierto y lo incierto, propiciándose un relativismo moral que enrarece la cultura. “Según Turkle, la tecnología está convocando un conjunto de ideas asociadas con la posmodernidad, ideas sobre la inestabilidad de los significados y la falta de verdades universales”<sup>6</sup>. El pluralismo y la libertad de expresión son objetivos éticos y con ellos tendremos que convivir democráticamente. Pero..., ¿cuántas falsedades circulan *on-line*, cuánta propaganda sin control ni corrección alguna? ¿Cuántas mentiras y calumnias? ¿Cuántos incautos, y especialmente niños, terminan lesionados en su mente y en su corazón al creer ingenuamente lo que se informa y publica por todos los medios de divulgación?

El derecho a la información conlleva el peligro de desinformar, de desorientar, de decir como cierto lo que apenas es una sospecha, de elevar a la condición de verdad y hasta de dogma cuantas creencias esotéricas y pseudo-religiosas van surgiendo en la imaginación de algunas mentes despistadas. También la restricción de la comunicación, especialmente de aquellos sistemas políticos dictatoriales y represivos, o de aquellos fundamentalistas e integristas de extrema ortodoxia, hacen mucho daño a las libertades y al acceso a la verdad.

4. El conocimiento contemporáneo está necesariamente mediado por la tecnología y viceversa, lo que nos concita a remodelar nuestras maneras de sentir, de pensar y de actuar con una nueva *ecología del conocimiento* que trae consigo cambios profundos de actitud humana<sup>7</sup>. La tecnociencia penetra

<sup>6</sup> RODRÍGUEZ RUIZ, Jaime Alejandro, o. c., p. 14.

<sup>7</sup> “La crítica de la razón instrumental de Marcuse y Horkheimer denunció en su momento los mecanismos de dominación que operan en la tecnología moderna, que se extiende hasta la pérdida de la independencia del pensamiento moral con respecto al pensamiento científico. Marcuse afirmaba que la tecnología podía haber sido un poderoso instrumento de cambio histórico, ya que la acción humana podría haber liberado a la naturaleza de su insuficiencia.

sin pedir permiso por todos los recovecos de la vida humana y la reconfigura a su manera. Ejerce su influencia directamente sobre los ordenamientos morales, psicológicos y sociales y, desde esta realidad, el mundo de las cosas ya no está solamente a merced de las leyes biofísicas. La naturaleza toda pasa por la acción manipuladora humana que la moldea a su modo de percibir la existencia y de satisfacer sus necesidades.

“Quizá una de las consecuencias más importantes del avance tecnológico consiste en la promoción de una nueva *ecología del conocimiento* caracterizada por la primacía del conocimiento científico, el poder universalizante de la técnica, y el desarrollo y extensión a prácticamente todos los ámbitos de la actividad vital humana de una forma de pensamiento llamada *racionalidad tecnológica*. Este tipo de racionalidad ya fue anticipado por los autores de la escuela de Frankfurt, quienes destacaron la primacía de una llamada *racionalidad instrumental*, que consistía en una inversión entre fines y medios. Según esta inversión, eran los medios los que movían a la actividad humana en nuestra sociedad, dejando en un papel secundario a los fines, que tradicionalmente cumplían dicha función. La *racionalidad tecnológica* supone un nuevo paso en la evolución de dicha racionalidad instrumental, y se caracteriza por el hecho de que la funcionalidad como característica fundamental impone valor en hechos y acciones. No es preciso conocer la estructura si se conoce la función, y el carácter práctico obtiene una posición privilegiada frente a la fundamentación teórica. La llegada de las nuevas tecnologías de información supone la extensión a todos los puntos del planeta de dicha racionalidad tecnológica”.<sup>8</sup>

---

La historia es la negación de la naturaleza, solía repetir Marcuse. Sin embargo, ese proceso de cambio y liberación se ha distorsionado por una ciencia y una tecnología que se han transformado frecuentemente en formas específicas de control y dominación, trabajando no ya en la consecución de una transformación del hombre o de la historia, sino en aras de un proyecto específico: el control técnico de la naturaleza. Si la tecnología ofrecía hasta ahora un mayor control del hombre sobre su vida cotidiana, al mismo tiempo impedía que el hombre se encontrara asimismo más allá de la alienación de un mundo artificializado”. BUSTAMANTE, Javier, “La sociedad de la información. Hacia la cuarta generación de Derechos Humanos: respetando la condición humana en la sociedad tecnológica”. En *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación*, N° 1, sep.-dic., 2001.

<sup>8</sup> BUSTAMANTE, Javier, *ibidem*.

Las actuales realidades se constituyen en condición de posibilidad para el cambio social, la emergencia de nuevos valores, la aparición de nuevos paradigmas éticos y, en definitiva, el advenimiento de nuevas formas de organización social global con acciones democráticas mejor informadas y más participativas. Estamos ad portas de cambios complejos y sustanciales en la cultura globalizada, de aquella que no reconoce fronteras territoriales ni legislaciones nacionales, porque todo el planeta Tierra queda interconectado al menor movimiento de un *click*. Para atender al ordenamiento de la convivencia justa y pacífica en esta novedosa cultura de cuño virtual, tenemos necesidad urgente de elaborar una cuarta generación de los Derechos Humanos<sup>9</sup>.

5. El desarrollo y administración de la tecnociencia es cada vez más sofisticado, reposa en una elite de personas muy expertas, de cuantiosos capitales que se congregan y se movilizan internacionalmente en búsqueda siempre de mejores oportunidades de reituación para sus propietarios, en reconocimiento a las posibilidades de riesgo y a su "*know how*". Los capitales, además de sus intereses económicos tienen también otros de tipo político, racial, religioso, etc. No siempre dichos intereses comportan mensajes de justicia, de equidad, de libertad, de solidaridad humana y de paz. No todos ellos están al servicio de la verdad y de la fraternidad universal. Ante la globalización, llevada de la mano invisible de los medios virtuales de comunicación, la propiedad privada y estatal queda en gran parte a merced de lo público. Es ético el derecho a la propiedad intelectual e industrial. No son éticas la piratería ni el plagio, ni el robo a las empresas y bancos vulnerando los sistemas de seguridad virtual, ni entrar a saco sobre los bienes de terceros expuestos en las vitrinas virtuales de Internet, de los medios de comunicación social, de las publicaciones impresas y de todos aquellos reservorios de bienes históricos, culturales y religiosos.

---

<sup>9</sup>

El derecho al desarrollo, por su parte, constituye un derecho humano de tercera generación. 1ª generación: derechos individuales; 2ª generación: derechos sociales; 3ª generación: derechos de solidaridad, donde se incluye el derecho al desarrollo que exige una obligación de hacer por parte de la comunidad internacional, con el fin de promover el desarrollo integral y autosostenido de los países periféricos, que constituyen las 3/4 partes de la humanidad.

Pero, ¿no habíamos convenido que todo conocimiento es un bien cultural y le pertenece a la comunidad humana como tal, pues ella es la gestora universal de la cultura? ¿Cómo resolver la aporía entre bienes de propiedad privada y bienes públicos, más cuando ellos favorecen el crecimiento de la libertad o lo contrario? ¿Cómo lograr que la riqueza que trae el conocimiento tecnocientífico sea riqueza para todos y no sólo para unos pocos, en aras a la justicia distributiva y a la equidad? Estas preguntas se las tendremos que hacer a los organismos estatales y a las instituciones mundiales que velan por los derechos de los pueblos.

6. Todo conocimiento lleva implícita la vocación educativa del mismo y un modo ético de producirlo y de socializarlo. Esto quiere decir que el acervo del conocimiento depurado históricamente está comprometido con las presentes y futuras generaciones humanas, para ser transmitido a ellas a través de las tecnologías pedagógicas modernas de enseñanza-aprendizaje. Vivimos actualmente una revolución en la cantidad y calidad de conocimiento, como nunca antes en la historia de la humanidad. Las novedades del conocimiento virtual –y a la postre, todo conocimiento es virtual porque su naturaleza es eminentemente simbólica-, requiere de modos virtuales de comunicación, exigentes de nuevas pedagogías que sobrepasan las tradicionales de las aulas de clase y de las enseñanzas caseras. Todo el ambiente social se ha convertido ahora en escuela educativa sin fronteras, que comunica una variopinta gama de mensajes enmarañados en direcciones sin rumbo y sin definir una jerarquía deseable de valores morales. ¿Estamos pedagógica y éticamente preparados para educar y ser educados en la virtualidad? ¿Estamos listos para aprender a aprender?
7. Vale la pena observar el fenómeno religioso<sup>10</sup> que se mueve en la realidad virtual, dado que forma parte sustancial del mundo de la vida, y del cual tiene también que ocuparse la Bioética. Si bien la Bioética es una interdisciplina aconfesional que reflexiona moralmente sobre las formas humanas

---

<sup>10</sup> Recomiendo leer: SIERRA G., Luis Ignacio, "Religiosidad on-line: nuevo horizonte para el creyente", en *Revista Javeriana*, mayo 2002, Número 684, Tomo 138, año de publicación 69, p. 47-55.

de vivir que afectan el mundo de la vida toda, la experiencia religiosa no puede serle extraña a su quehacer analítico. En este sentido abordamos el tema religioso en la contemporaneidad virtual.

De lo religioso podemos dar razón a dos niveles: la vivencia de Dios en la intimidad de la conciencia, algo profundamente subjetivo y propio de cada persona y difícilmente tematizable y transferible a otros, y el nivel de las formas sociales e históricas como se expresan colectivamente los creyentes. Ambos niveles tienen de común los símbolos y sus significados espirituales que hablan de sí en lenguajes verbales, gestuales, musicales, rituales festivos y fúnebres, pictóricos, esculturales, arquitectónicos; todo ello sacralizando tiempos y espacios específicos, a los cuales connota de significado trascendente.

La realidad virtual ha venido en ayuda de lo religioso, haciendo visible lo invisible de un discurso típicamente simbólico y abstracto, propio de lo espiritual. Para desilusión de muchos que vaticinaron la muerte de Dios con el advenimiento de la razón ilustrada y el despliegue de las condiciones de la Modernidad, época en la que supuestamente el hombre se vale por sí mismo y toma en sus manos el destino suyo y del mundo con la ciencia y la tecnología, la Postmodernidad abrió todos los espacios posibles a la reprimida subjetividad donde anida la experiencia religiosa.

Lo que estamos observando actualmente es una eclosión de sentimientos espirituales de todo tipo, que buscan reconocimiento social en el proceso de búsqueda de adeptos. Emergen creencias que dan aliento y esperanza a la vida humana, con o sin claridad en la existencia de Dios y de relaciones eclesiales que articulen orgánicamente las razones de su fe. Aparecen credos diabólicos y religiones atávicas que tienen lo perverso como doctrina, bajo el supuesto que adherir a los poderes del mal trae mejores dividendos, en una sociedad que aplaude servilmente a los que triunfan por cualquier medio. No faltan los que vuelven su mirada arrepentida sobre la naturaleza y el cosmos para rendirle culto, aburridos y avergonzados de la arrogancia antropocéntrica que tantos daños ha causado al mundo y al hombre. Sobran las ofertas esotéricas que desdoblán el yo en pequeñeces animistas y supersticiosas, orientadas hacia un holismo dotado de divinidad. No faltan

los fundamentalismos monoteístas con sus fuertes dosis de dogmatismo fanático y persecutorio de quienes no creen en lo suyo. Y también hacen presencia las grandes religiones históricas, con su dosis de pluralismo al interior de su ortodoxia, privilegiando con esto el respeto ortopráxico a los modos como personas y grupos pueden militar en su fe sin sanciones ni exclusiones, como debe ser en una sociedad pensante y liberal. Hay de todo, e Internet es la gran vitrina donde se exhibe la oferta virtual de experiencias religiosas. No todas aportan valores para hacer crecer en dignidad al ser humano. La Bioética ofrece sus servicios a este escrutinio.

8. Finalmente, la suerte del individuo y de la comunidad humana dependen de los valores morales que construyamos mancomunadamente a favor de una vida recta, virtuosa, que facilite suficientes espacios de libertad para las justas aspiraciones de felicidad y realización existencial de cada uno de los miembros de la familia humana. De esto se ocupa la sabiduría como espíritu mismo de la “ética de mínimos y de máximos valores morales” que nos enseñan a convivir sin exclusiones, haciendo de este planeta una casa habitable para todos. Esa misma sabiduría que se las arregla para orientar con responsabilidad la producción y el uso del conocimiento tecnocientífico, ahora también virtual, motor de la “Sociedad del conocimiento” que nos hace innumerables promesas de una vida mejor.

## BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

- ❑ BARRET, Edward y REDMOND, Marie (comp.), *Medios Contextuales en la práctica cultural. La construcción social del conocimiento*, Paidós, Barcelona, 1997.
- ❑ BIRKERTS, Sven, *Elegía a Gutemberg. El futuro de la lectura en la era electrónica*, Alianza, Madrid, 1999.
- ❑ CAFIERO, Mercedes, MARAFIOTI, Roberto, TAGLIABUE, Nidia, *Atracción mediática. El fin de siglo en la educación y la cultura*, Editorial Biblos, Buenos Aires, 1997.

- ❑ DERY, Mark, *Velocidad de escape. La cibercultura en el final del siglo*, Ediciones Siruela S. A., Madrid, 1998.
- ❑ GUBERN, Román, *El eros electrónico*, Grupo Santillana de Ediciones, S.A., Madrid, 2000.
- ❑ ———— *Del bisonte a la realidad virtual. La escena y el laberinto*, Anagrama, Barcelona, 1996.
- ❑ HOLTZMAN, Sreven, *Digital Mosaics. The esthetics of cyberspace*, Touchstone, New York, 1997.
- ❑ JOYANES, Luis, *Cibersociedad. Los retos sociales ante un nuevo mundo digital*, Mc.Graw-Hill, Madrid, 1997.
- ❑ KERCKHOVE, Derrick de, *Inteligencias en conexión. Hacia una sociedad de la web*, Gedisa editorial, Barcelona, 1999.
- ❑ ———— *La piel de la cultura. Investigando la nueva realidad electrónica*, Gedisa editorial, Barcelona, 1999.
- ❑ KERNAN, Alvin, *La muerte de la Literatura*, Monte Ávila, Caracas, 1996.
- ❑ LÉVY, Pierre, *¿Qué es lo virtual?*, Paidós, Barcelona, 1999.
- ❑ MALDONADO, Tomás, *Crítica de la razón informática*, Paidós, Barcelona, 1998.
- ❑ NUMBERG, Geoffrey (Comp.), *El futuro del libro ¿Esto matará eso?*, Paidós, Barcelona, 1998.
- ❑ O'DONELL, James, *Avatares de la palabra. Del papiro al ciberespacio*, Paidós, Barcelona, 1998.

- ❑ ARANOWITZ, Stanley, Martinsons Barbara y Menser Michael (compiladores). *Tecnociencia y cibercultura. La interrelación entre cultura, tecnología y ciencia.* Barcelona: Paidós, 1998
- ❑ SALVAT MARTINREY, Guiomar, *La expresión digital en presente continuo,* Cees-Ediciones, Madrid, 2000.
- ❑ SANCHEZ NORIEGA, José Luis, *Crítica de la seducción mediática,* Editorial Tecnos S. A., Madrid, 1997.
- ❑ TURKLE, Sherry, *La vida en la pantalla. La construcción de la identidad en la era de Internet,* Ediciones Paidós Ibérica, S.A., Barcelona, 1995.

**ENLACES DE INTERÉS. Tomados de: Pontificia Universidad Javeriana, Centro Universidad Abierta. (Junio 2003).**

<http://www.javeriana.edu.co/cua/boletin/interes.html>.

<b>Revista ciencia, tecnología, sociedad e innovación</b>
Publicación electrónica perteneciente a la Organización de Estados Iberoamericanos para la educación, la ciencia y la cultura, contiene artículos relacionados con ciencia, tecnología, educación, cultura y sociedad en Iberoamérica. <a href="http://www.campus-oei.org/revistactsi/numero2/index.html">http://www.campus-oei.org/revistactsi/numero2/index.html</a>
<b>EduTEKA: Tecnologías de la información y comunicaciones para enseñanza básica y media</b>
Esta revista publicada por la Fundación Gabriel Piedrahita Uribe de Cali, Colombia, contiene artículos relacionados con tecnología y procesos de enseñanza y aprendizaje. <a href="http://www.eduteka.org/">http://www.eduteka.org/</a>
<b>Colciencias</b>
Este portal adscrito al Departamento Nacional de Planeación del gobierno de Colombia, contiene información referente a actividades relacio-

nadas con la ciencia y la tecnología. En él se destaca la Red Caldas, que sirve como instrumento de integración para la comunidad investigativa del país. <http://www.colciencias.gov.co/>

### **Instituto latinoamericano de la comunicación educativa ILCE.**

Organismo internacional con sede en México orientado hacia el desarrollo de proyectos investigativos en las áreas de educación, comunicación, informática y tecnología, así como en educación a distancia. <http://www.ilce.edu.mx/>

### **BENED**

Conozca el boletín Electrónico de Noticias de Educación a Distancia de la UNED de España, en él encontrará interesantes noticias sobre el desarrollo de la educación a distancia en el mundo, la aplicación de las nuevas tecnologías en los distintos niveles y áreas de la educación, así como reseñas de eventos e investigaciones.

<http://www.uned.es/bened>

### **Portal educativo de las Américas.**

Portal perteneciente a la Organización de Estados Americanos OEA. Contiene recursos de interés en el área de educación: enlaces a otros sitios, eventos e instituciones relacionadas con el medio.

<http://www.educoas.org>

El portal educativo de la OEA presenta la página de la Red de las Tecnologías de la Información para el Desarrollo, diseñada para promover el intercambio de conocimiento entre actores claves en el área de tecnologías de la información y sus aplicaciones en temas relacionados con el desarrollo social y la educación.

La información incluye investigaciones e informes relacionados con el uso de nuevas tecnologías, reseñas de eventos, enlaces a portales educativos, materiales para docentes, consorcios y universidades virtuales.

<http://www.educoas.org/portal/links.aspx?culture=es&tabindex=25&childindex=0>