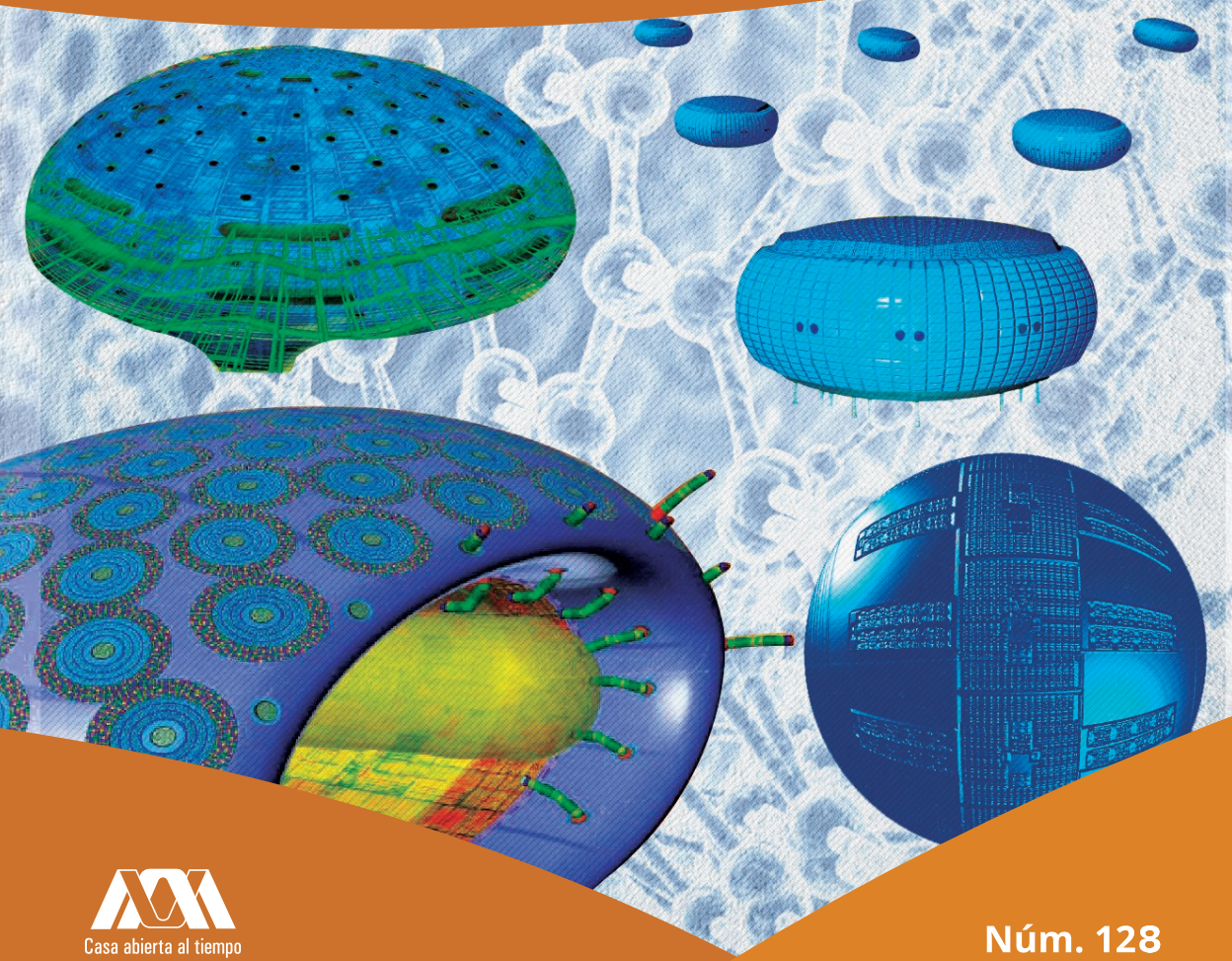
ASPECTOS ÉTICOS DE LA NANOTECNOLOGÍA EN LA ATENCIÓN A LA SALUD

Jorge Alberto Álvarez Díaz



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Núm. 128
Serie Académicos

ASPECTOS ÉTICOS DE LA NANOTECNOLOGÍA EN LA ATENCIÓN A LA SALUD

Jorge Alberto Álvarez Díaz

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Casa abierta al tiempo

Rector General
Dr. Salvador Vega y León
Secretario General
M. en C. Q. Norberto Manjarrez Álvarez

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA-XOCHIMILCO
Rectora
Dra. Patricia E. Alfaro Moctezuma
Secretario
Lic. G. Joaquín Jiménez Mercado

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
Director
Mtro. Rafael Díaz García
Secretaria Académica
Dra. Leonor Sánchez Pérez
Responsable del Programa Editorial
Lic. Zyanya Patricia Ruiz Chapoy

Comité Editorial
Esp. Marco Antonio Díaz Franco
Dr. Román Espinosa Cervantes
Dr. Jordan Golubov Figueroa
Dra. María Angélica Gutiérrez Nava
M. en C. Alejandro Meléndez Herrada
M. en C. Dorys Primavera Orea Coria
Dra. Norma Ramos Ibáñez
Dr. Ernesto Sánchez Mendoza

Aspectos éticos de la nanotecnología en la atención a la salud.
Primera edición: 2016
ISBN: 978-607-28-0887-4

D.R. © UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Xochimilco
Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Del. Coyoacán, C.P. 04960,
Ciudad de México, Tel.: 5483 7000 ext. 3783

Hecho en México

ÍNDICE

Índice 5
Prólogo, por Guillermo Foladori 9
Presentación 13

Nanotecnología: Conceptos básicos 17

1. La escala nano 18
2. Nanociencia 20
3. Nanotecnología 22
   3.1. Del neolítico al nanolítico 25
   3.1.1. Pasado: La r(evolución) nanotecnológica 29
   3.1.1.1. Feynman y la aproximación "top-down" 29
   3.1.1.2. La Ley de Moore 32
   3.1.1.3. Explorando el nanonivel 35
   3.1.1.4. Elaborando nanopartículas 36
   3.1.1.5. Drexler y la aproximación "bottom-up" 39
   3.1.2. Presente: Nanotecnología común 42
   3.1.3. Futuro: Pequeña escala con grandes promesas 43
   3.2. Nanotecnología aplicada 45
   3.2.1. La necesaria (y problemática) partícula "bio" 45
4. Resumen 49

Nanotecnología y atención a la salud 50

1. Definición de nanomedicina 51
2. Práctica clínica e investigación clínica 56
3. Educación y prevención 63
4. Diagnóstico y pronóstico 65

5. Tratamiento y rehabilitación 68
5.1. Administración dirigida de fármacos 69
5.2. Medicina regenerativa 73
5.3. Teranóstico y medicina personalizada 76
5.4. Nanomedicina en las especialidades médicas 78
5.5. La larga tradición de los autómatas y la corta historia de los nanorobots 82
6. Nanomedicina en la práctica clínica 92
7. Resumen 93

Nanotecnología y bioética 94

1. ¿Qué es la ética? 96
2. Ciencia y ética 103
3. Tecnología y ética 105
3.1. Filosofía de la tecnología 105
3.2. La nanotecnología como disciplina autónoma 107
3.2.1. Sociología de la nanotecnología 108
3.2.1.1. Nanates y nanites 108
3.2.1.2. Innovaciones disruptivas e innovaciones sostenidas 111
3.2.2. Antropología de la nanotecnología 113
3.2.3. Ética de la nanotecnología: Nanoética 116
3.2.3.1. Origen del término 116
3.2.3.2. Intentos de fundamentación de la nanoética 130
4. A propósito de la bioética 141
4.1. La definición de "bioética" 141
4.2. Los niveles de la bioética 143
4.3. La fundamentación de la bioética y la nanotecnología 148

4.4. Ética de la nanobiotecnología: Nanobioética 150
5. Nanobioética en nanomedicina 152
5.1. Identificación de problemas éticos 152
5.2. Problemas éticos que no son tales 155
5.3. Problemas nanobioéticos específicos 159
5.3.1. Ensayos clínicos en nanomedicina 161
5.3.2. Relación clínica y consentimiento informado 164
5.3.3. Países emergentes 167
5.4. Desafíos de la regulación de incógnitas conocidas 174
5.4.1. Nanobioética y comités 175
5.4.2. Nanobioderecho y nanobiopolítica 176
5.4.2.1. Principio de precaución 176
5.4.2.2. Vigilancia y gobernabilidad 179
5.4.2.3. Democracia deliberativa y nanomedicina 181
5.5. Nanos a la obra: ética y nanotecnología 183
5.5.1. La fundamentación de la ética 185
5.5.2. La metodología de la ética 194
5.5.3. Nanotecnología y atención a la salud bajo esta perspectiva nanobioética 201
6. Resumen 212

Epílogo: ¿Tecnología prometeica con potencial pandórico? 214
Sobre el autor 218

PRÓLOGO

Un atleta es castigado por dopaje. Su intención era mejorar su desempeño físico. Un científico es premiado por inventar un implante neurológico para mejorar el desempeño físico. Dejando a un lado la eventual esquizofrenia de la sociedad moderna, ambos actores perseguían un mismo propósito: el mejoramiento del cuerpo biológico. Como bien señala Jorge Alberto Álvarez Díaz, autor de este libro, las primeras revoluciones tecnológicas, como el hacha de piedra o la invención del arco y flecha, consistían en adaptarse al medio. Luego vinieron las que transformaban el medio, desde la neolítica a la revolución industrial. Ahora, con las nanotecnologías, al menos en su vertiente biomédica, se pretende transformar el propio cuerpo biológico para adaptarse a sí mismo. No es casual que uno de los documentos clave que inspira la Iniciativa Nacional de Nanotecnología de los Estados Unidos considere como propósito de las tecnologías convergentes el mejoramiento del desempeño humano ("…improving human performance")[1]. Pero, ¿cuál sería el modelo hacia donde habría que adaptarse? y, ¿quiénes podrán adaptarse?, se pregunta nuestro autor.

Principios éticos han estado presentes en la actividad médica desde tiempos prehistóricos. El Código de Hammurabi (1750 A.C.) reglamentaba la profesión médica, pero, al hacerlo, establecía preceptos éticos. Luego de la Segunda Guerra Mundial se elaboró el Código de Ética Médica de Núremberg, sobre experimentación en humanos. Cada avance significativo en la tecnología médica, en las formas de experimentación, en las medidas reglamentarias y en el desarrollo social en general plantea nuevos retos éticos en diversos campos. Las nanotecnologías han desatado inmediatamente su propia discusión

[1] Roco M, Bainbridge W. Converging technologies for improving human performance. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 2003.

ética. No es para menos, ya que estas tecnologías prometen, entre otras cosas, implantes para conectar el cerebro con memorias artificiales y la extensión de la vida humana arriba de los 120 años.

Jorge Alberto Álvarez Díaz repasa las tres principales áreas de desarrollo de la llamada nanomedicina: diagnóstico, administración dirigida de fármacos, y medicina regenerativa. Pero, ¿qué novedades podría traer esto en términos éticos? Nuestro autor repasa varias, pero aquí nos vamos a detener en una de ellas: en el avance sustancial que significa la intermediación de objetos entre el paciente y la atención clínica. Los bio-nano-sensores, por ejemplo, permiten el rápido análisis, inclusive genético, del paciente. Permiten individualizar el tratamiento y detectar modificaciones en biomarcadores casi en tiempo real, de manera que la enfermedad puede ser atacada en sus primeras manifestaciones con mayor éxito. Pero esta supuesta ventaja no debe ocultarnos ciertos riesgos. La información digitalizada e individualizada de los pacientes da pie para la discriminación de aquellos más susceptibles a determinadas pero costosas enfermedades, por parte de las agencias de seguros, hospitales privados y otras instituciones de salud, o, como se dice en el texto, *el uso inadecuado de datos confidenciales de los pacientes*, sin duda un problema ético. Además, el tratamiento precoz de una enfermedad no garantiza que el desarrollo inmunológico del paciente no hubiese sido suficiente para combatirla, pero sí garantiza una inserción más temprana en el sistema mercantil de salud y en las ganancias privadas. La tecnificación, de hasta los sentidos, conlleva el rechazo a cualquier tipo de medicina alternativa, basada en conocimientos y prácticas empíricas que no utilizan tecnología sofisticada, y, como consecuencia, la reglamentación y ética que la acompaña termina siendo la ética de un sector oprimiendo el desarrollo de otros, como clara expresión de una ideología dilemática donde quienes tienen tecnología sofisticada están en lo correcto y el resto equivocado.

La posibilidad de la medicina personalizada, ligando el diagnóstico con la terapia de manera simultánea (nano-teranóstico en términos del autor) es una versión aún más radical del tratamiento individual. En las sociedades precapitalistas la medicina era básicamente personalizada, tanto porque los tratamientos requerían largos periodos de preparación y de administración de los remedios y sólo las clases dominantes podían disponer de médicos especializados, como en el caso de la medicina espagírica, o porque la terapia no podía separar el medio o instrumento del paciente, como en la acupuntura, y otras. Pero el desarrollo de la producción mercantil en Europa Occidental del siglo xiv en adelante, y luego más contundentemente después de la revolución industrial y los avances en la química del siglo xix, permitió a la medicina, de la mano de los remedios generalizados, desarrollar tratamientos masivos; y los antibióticos se volvieron en el siglo xx la cristalización más elocuente de la medicina química. Esto tuvo la enorme ventaja del tratamiento extendido a grandes sectores de la población, en particular a la creciente población urbana; pero la contraparte fue que los remedios eran efectivos en diez, veinte o treinta por ciento de los casos, mientras que los microbios se volvían cada vez más resistentes. En torno de los años ochenta del siglo xx se hizo evidente lo que se llamó el resurgimiento de las enfermedades infecciosas. Con ello se hicieron antibióticos más potentes y de amplio espectro, lo que sólo llevo a microbios aún más resistentes.

Sólo a partir del siglo xxi la tecnología ha podido ofrecer sensores y análisis simples, rápidos e individualizados, y las nanotecnologías están llamadas a dar un salto espectacular en este sentido si consideramos que un análisis de dna puede ser realizado en 48 horas, con lo cual el tratamiento individualizado se vuele real. Nuestro autor da abundante información sobre la potencialidad de las nanotecnologías de apoyar el proceso de personalización de la medicina llegando más allá del análisis celular, para considerar la estructura molecular del paciente.

Los problemas éticos que surgen de la aplicación de las nanotecnologías a la medicina pueden formar una larga lista, como el uso inadecuado de datos confidenciales de los pacientes, los peligros y riesgos asociados a los nanomateriales, el potencial incremento de la división entre pobres y ricos, tanto entre países como al interior de los mismos.

Aspectos éticos de la nanotecnología en la atención a la salud es un recorrido desde el surgimiento y características de las nanotecnologías a su aplicación en el campo de la salud y medicina, pasando por las implicaciones éticas, y lo que se considera la ética de las nanotecnologías. El texto está abrumadoramente referenciado, lo cual facilita al lector interesado perseguir caminos de pensamiento o temáticas paralelas. Álvarez Díaz enfoca las disyuntivas éticas de la nanomedicina desde la filosofía deliberativa del médico y filósofo Diego Gracia Guillén, donde el juicio prudente y la deliberación constituyen la guía; e intuye las dificultades de una democracia deliberativa en la sociedad actual, pero al mismo tiempo su alternativa. Pero este camino democrático requiere conocimiento y transparencia de información hacia amplios sectores de la sociedad, para garantizar su participación. Transparencia es uno de los restos de la sociedad actual. Información básica sobre los productos de las nanotecnologías, como el etiquetado, han despertado la oposición sistemática de la industria química y otros sectores industriales y algunos gobiernos; y los trabajadores no están en posibilidad de conocer los nanomateriales que manipulan debido a las cláusulas de confidencialidad empresarial. Queda al lector la tarea de discernir los caminos de una democracia deliberativa en el contexto del desarrollo contemporáneo de las nanotecnologías.

Guillermo Foladori
Zacatecas, México, mayo de 2015

PRESENTACIÓN

Indudablemente los filósofos están en lo cierto cuando nos dicen que nada es grande ni pequeño sino por comparación». Jonathan Swift escribió esta frase en su libro *Viajes por diversos países remotos del mundo* (1726), conocido hoy simplemente como *Los viajes de Gulliver*. En la actualidad filósofos, científicos, encargados de políticas públicas, etcétera, se ocupan cada vez más de las aplicaciones nanotecnológicas, que entusiasman y preocupan por los alcances que pueden conseguir en esferas de la vida tales como la milicia, el medio ambiente, la atención a la salud, etcétera.

Las implicaciones éticas y sociales de lo que actualmente se hace en nanotecnología, y de lo que podría conseguirse con ella, son tales que en la primera década de este milenio las discusiones se han multiplicado exponencialmente y han aumentado en su profundidad.

Se plantean verdaderos desafíos en la relación entre nanotecnología y la atención a la salud (a través de la nanomedicina), así como entre la nanotecnología y la bioética (por medio de la nanobioética). Algunos de los nuevos problemas éticos que dieron origen a la bioética tenían que ver con la aplicación tecnológica: técnicas de soporte vital y la definición de muerte; técnicas de reproducción humana asistida y el estatus del embrión, etcétera. Probablemente las aplicaciones de la nanomedicina tengan que analizarse a la luz de nuevas consideraciones nanobioéticas.

En cada época hay hechos distintos que plantean problemas éticos diferentes. En muchos momentos históricos es suficiente el adaptar la ética que se conoce a los nuevos problemas; pero esto sucede cuando los cambios en la realidad no son muy drásticos. Baste recordar que el lenguaje de las virtudes y los vicios nace en el mundo clásico y perdura hasta la Edad Media; sin embargo, cuando se transforma el mundo con la Ilustración y se entra en la modernidad,

ese lenguaje (con su fundamentación y su correlato metodológico) ya no fue suficente. Hubo de transformarse de tal modo la ética que de los sistemas teleológicos de la virtud se pasa a nuevas concepciones deontológicas con la noción de deber. No es que esto anule el sistema anterior, de algún modo se agrega para complementarlo. De un modo similar ocurre con los derroteros del término "responsabilidad", que no existe en el latín clásico y que se ha desarrollado de forma exuberante en el siglo xx. Así como evoluciona la ciencia y la tecnología presentando hechos nuevos, así debe evolucionar la ética; así ha generando nuevas propuestas y otras tantas respuestas. Ante grandes cambios la ética no puede conformarse con la repetición de éticas previas, dado que éstas no podrán dar una respuesta concreta a retos absolutamente novedosos. Sin embargo, esto no quiere decir el abandono de la tradición ética, por el contrario, hay que tenerla siempre presente para poder determinar de forma prudente hasta dónde habrá que modificar las propuestas que se hagan ante los nuevos problemas que plantee la realidad.

El trabajo está dividido en cuatro capítulos. Dado que los temas tratados no se engloban en una sola disciplina o un solo campo disciplinar, los tres primeros capítulos terminan con un breve resumen que intenta exponer puntos centrales y así avanzar con mayor agilidad en la lectura.

El estilo de citación es el Vancouver, con modificaciones (influencia del estilo Harvard): las referencias se anotan a pie de página (alternadas con las notas), se presenta el total de los autores de un trabajo citado, y se escribe el título completo de la revista. Todas las direcciones electrónicas con URL (uniform resource locator) o doi (digital object identifier) fueron revisadas por última vez el 10 de enero de 2016, por lo que no se consigna ese dato en las citas. Con esta serie de modificaciones se espera agilizar la lectura y mejorar la calidad de la información al hacer más fácilmente accesible una referencia, un concepto, una definición, una aclaración, etcétera. Cuando se trata de

citas textuales, si no se dispone una traducción al español, se ofrece una traducción propia.

El último punto es aclarar que la primera versión de este trabajo consiguió el accésit al "Premio del Colegio Oficial de Médicos de Valladolid" 2012, otorgado por la Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid, España, de la cual el autor es Académico Correspondiente. El haber sometido el texto a la revisión de un Comité Editorial y a la dictaminación por pares académicos ha tenido aportes importantes: revisar bibliografía y hemerografía significativa más reciente; aclarar, ampliar o matizar algunos conceptos; pulir algunas cuestiones de estilo; e introducir un par de pequeñas secciones que eran necesarias para la coherencia interna del texto. Con todo ello ha ganado no solamente el texto final, sino también el lector, quien después de conocer y apropiarse de las ideas y conceptos vertidos aquí, de algún modo se transforma también en un co-autor.

El autor
Ciudad de México, México, mayo de 2015

NANOTECNOLOGÍA: CONCEPTOS BÁSICOS

Lewis Carroll destina el último capítulo de *Alicia en el País de las Maravillas* a la declaración de la protagonista en el juicio a la Sota de Corazones. Ésta es acusada de haber robado unas tartas que elaboró la Reina de Corazones. Cuando el Conejo Blanco pregunta al Rey de Corazones por dónde empezar con la lectura de una carta (última prueba del juicio), el Rey contesta: «Empieza por el principio […] y sigue hasta llegar al final»[2]. Lejos de ser una perogrullada, es el mejor principio del orden. Para poder hablar de los aspectos éticos de la nanotecnología en la atención a la salud, es necesario partir por el principio: ¿de qué se habla en los neologismos que incorporan el prefijo "nano"?

Nanomateriales, nanoestructuras, materiales nanoestructurados, nanoimpresiones, nanobiotecnología, nanofísica, nanoquímica, nanotecnología radical, nanociencias, nanoóptica, nanoelectrónica, nanorobótica, nanosoldados, nanomedicina, nanoeconomía, nanonegocios, nanoabogado, nanoética, por nombrar unos pocos de los nanos. Necesitamos una definición clara de todos estos campos floreciente por el bien de la asignación de subvenciones, por el bien de la definición de programas de investigación, y para evitar que todo el mundo esté perdido en tantos nanos»[3]. Siguiendo el consejo del Rey de Corazones, en esta primera parte se examinan algunos conceptos fundamentales para vislumbrar por qué lo pequeño resulta cada vez más grande.

---

[2] Carrol L. Alicia en el País de las Maravillas. Ediciones del Sur; 2003. p. 119.

[3] Joachim C. To be nano or not to be nano? Nature Materials 2005;4(2):107-109.

1. La escala nano

"Nano" es un prefijo del Sistema Internacional de Unidades que indica un factor de 10^{-9}; confirmado en 1960, proviene de la raíz griega νάνος, que significa "súper enano". En lengua española «Significa 'una milmillonésima (10^{-9}) parte'. Se aplica a nombres de unidades de medida para designar el submúltiplo correspondiente. (Símb. n)»[4].

Resulta complicado imaginar la nanoescala (tabla 1). En el tiempo un nanosegundo puede definirse como la milmillonésima parte de un segundo; un nanosegundo es a un segundo lo mismo que un segundo es a treinta años.

Si se necesita pensar en dimensiones, un nanómetro puede definirse como la milmillonésima parte de un metro. Un primer modo de explicarlo sería aumentar el nanómetro. Quien sigue esta lectura puede pensar que «si un nanómetro fuese lo suficientemente magnificado para aparecer tan largo como la nariz de su cara, entonces un eritrocito aparecería del tamaño del edificio del Empire State, un cabello humano sería de aproximadamente dos o tres millas de grosor, uno de sus dedos atravesaría la parte continental de EEUU, y una persona normal sería tan alta como seis o siete planetas Tierra, apilados uno sobre otro»[5].

---

[4] Real Academia Española. Diccionario de la Lengua Española. 22ª ed. Madrid: ESPASA; 2001. Disponible en URL: http://www.rae.es (entrada: "nano"). En adelante, toda definición del Diccionario de la RAE (DRAE) se refiere a esta edición, dado su acceso electrónico. Si bien es cierto que la 23ª edición es la más reciente, todavía no se encuentra totalmente en línea. En caso de alguna distinción o actualización importante, se realiza la aclaración de la edición.

[5] Keiper A. The nanotechnology revolution. New Atlantis 2003;2:17-34.

Prefijo	Símbolo	Lengua de origen	Significado	Valor 10n	Equivalencia decimal en los prefijos del SI	Año de asignación	Escala corta	Escala larga
yotta	Y	Griego (okto)	Ocho	$(10^3)^8=10^{24}$	1'000'000'000'000'000'000'000'000'000	1991	Septillón	Cuatrillón
zetta	Z	Latín (septem)	Siete	$(10^3)^7=10^{21}$	1'000'000'000'000'000'000'000	1991	Sextillón	Mil trillones
exa	E	Griego (hexa)	Seis	$(10^3)^6=10^{18}$	1'000'000'000'000'000'000	1975	Quintillón	Trillón
peta	P	Griego (penta)	Cinco	$(10^3)^5=10^{15}$	1'000'000'000'000'000	1975	Cuatrillón	Mil billones
tera	T	Griego (teras)	Monstruo	10^{12}	1'000'000'000'000	1960	Trillón	Billón
giga	G	Griego (gigas)	Gigante	10^9	1'000'000'000	1960	Billón	Mil millones / Millardo
mega	M	Griego (megas)	Grande	10^6	1'000'000	1960	Millón	Millón
kilo	K	Griego (kilillo)	Mil	10^3	1'000	1795	Mil/Millar	Mil/Millar
hecto	H	Griego (heka-ton)	Cien	10^2	100	1795	Cien/Centena	Cien/centena
deca	Da	Griego (deka)	Diez	10^1	10	1795	Diez/Decena	Diez/Decena
- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	10^0	1	- - - -	Uno/Unidad	Uno/Unidad
deci	D	Latín (decem)	Diez	10^{-1}	0.1	1795	Décimo	Décimo
centi	C	Latín (centum)	Cien	10^{-2}	0.01	1795	Centésimo	Centésimo
mili	M	Latín (mille)	Mil	10^{-3}	0.001	1795	Milésimo	Milésimo
micro	M	Griego (micros)	Pequeño	10^{-6}	0.000'001	1960	Millonésimo	Millonésimo
nano	N	Griego (nannos)	Enano	10^{-9}	0.000'000'001	1960	Billonésimo	Milmillonésimo
- - - -	Å	- - - -	- - - -	10^{-10}	0.000'000'000'1	- - - -	Ángstrom	Ángstrom
pico	P	Español (pico)	Cantidad pequeña	10^{-12}	0.000'000'000'001	1960	Trillonésimo	Billonésimo
femto	F	Danés (femten)	Quince	10^{-15}	0.000'000'000'000'001	1964	Cuatrilloné-simo	Milbillonésimo
atto	A	Danés (atten)	Dieciocho	10^{-18}	0.000'000'000'000'000'001	1964	Quintilloné-simo	Trillonésimo
zepto	Z	Latín (septem)	Siete	$(10^{-3})^7=10^{-21}$	0.000'000'000'000'000'000'001	1991	Sextrilloné-simo	Miltrillonésimo
yocto	Y	Griego (octo)	Ocho	$(10^{-3})^8=10^{-24}$	0.000'000'000'000'000'000'0 00'001	1991	Septilloné-simo	Cuatrilloné-simo

Tabla 1. Prefijos del sistema internacional de unidades[6]

Una segunda manera de explicarlo sería no modificar la dimensión del nanómetro y compararlo con respecto al metro utilizando otras referencias. De esta forma, «un nanómetro comparado con el tamaño de un metro es más o menos de la misma proporción que una pelota de golf comparada con el tamaño de la Tierra»[7].

A pesar de la dificultad, parece necesario pensar en la nanoescala[8]: el tamaño de la doble hélice de DNA es de unos 2 nm; los átomos típicamente son menores a 1 nm; etcétera.

2. Nanociencia

La primera distinción por establecer puede ser entre "nanociencia" y "nanotecnología", aunque hay quien les trata como sinónimos[9].

Para el DRAE, "ciencia" se refiere al «Conjunto de conocimientos obtenidos mediante la observación y el razonamiento, sistemáticamente es-

---

6 Oficina Internacional de Pesas y Medidas – Organización Intergubernamental de la Convención del Metro. El Sistema Internacional de Unidades SI. 2ª ed. Madrid: Centro Español de Metrología; 2008. (Traducción de la 8ª ed. del original en francés, 2006) El ángstrom no es una medida del SI; se escribe como referencia, ya que «se utiliza ampliamente en la cristalografía de rayos X y en química estructural porque todos los enlaces químicos se encuentran en el rango de 1 a 3 ångströms. Sin embargo, el ångström no ha sido sancionado oficialmente por el Comité Internacional de Pesas y Medidas ni por la Conferencia General de Pesas y Medidas».

7 Allhoff P, Lin P, Moor D. What is nanotechnology and why does it matter? From science to ethics. Sussex: Wiley – Blackwell; 2010. p. 5.

8 Seaton A, Donaldson K. Nanoscience, nanotoxicology, and the need to think small. Lancet 2005;365(9463):923-924.

9 Dickinson E. Food colloids … Drifting into the age of nanoscience. Current Opinion in Colloid and Interface Science 2003;8(4):346-348. Al inicio del editorial, dice: «que esta revolución llamada nanociencia (o nanotecnología) va a cambiar el modo en que nosotros como científicos haremos nuestra investigación, […]».

tructurados y de los que se deducen principios y leyes generales». Con el prefijo "nano" se hace una aproximación al significado en sentido lato de "nanociencia", refiriéndose a la ciencia cuyo objeto de estudio entra en la escala nanométrica.

Una definición técnica o especializada de modo sencillo puede ser que la nanociencia «es el estudio de los fenómenos y la manipulación de materiales a escala nanométrica»[10]. De forma un poco más elaborada, en el Reino Unido se propone que la nanociencia «es el estudio de los fenómenos y manipulación de materiales a escalas atómica, molecular y macromolecular, donde las propiedades difieren significativamente de aquellas a escala más grande»[11].

Como cualquier definición, las que se aportan no son completas ni perfectas. Hay intentos por generar un marco sistemático que unifique y defina la nanociencia, por lo que el intento puede complicarse bastante. Por ejemplo, se sabe que los materiales conocidos cuando se les estudia en la nanoescala presentan propiedades ópticas, magnéticas y eléctricas modificadas respecto de las que tienen en la macroescala, debido a un efecto cuántico. Esto ha sugerido que el posible marco sistemático incluya una "tabla nanoperiódica", lo cual podría predecir de una mejor manera la relación riesgo/beneficio en las posibles aplicaciones de nanomateriales[12].

¿Por qué esta aparente divergencia al ofrecer definiciones? Probablemente es debido a los criterios que toma quien define lo que se quiere definir. Parece ser que existirían, al menos, tres tipos de definiciones[13]:

---

[10] Mendoza Uribe G, Rodríguez-López JL. La nanociencia y la nanotecnología: Una revolución en curso. Perfiles Latinoamericanos 2007;29(1):161-186.

[11] Royal Society, Royal Academy of Engineering. Nanoscience and nanotechnologies: Opportunities and uncertainties. London: The Royal Society; 2004. p. 5.

[12] Tomalia DA. In quest of a systematic framework for unifying and defining nanoscience. Journal of Nanoparticle Research 2009;11(6):1251-1310.

[13] Balogh LP. Why do we have so many definitions for nanoscience and nanotechnology? Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine 2010;6(3):397-

la científica, la pública, y la que posibilita toma de decisiones. La definición científica de la nanociencia surge del trabajo de los expertos en el área (pueden resultar muy complejas); cuando su trabajo es expuesto a legos en la materia surgen las definiciones públicas (a través de literatura, cine y/o medios de comunicación masiva[14]); y cuando se necesita la creación de políticas públicas sobre la nanociencia, entonces surgen definiciones que posibilitan distribución de recursos, inversión, etcétera (como muchas de las que se mencionan en adelante).

3. Nanotecnología

En un sentido lato, para el DRAE la tecnología es el «Conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico». La nanotecnología se referiría a esas teorías y técnicas a nanoescala[15]. Las definiciones que suelen darse son las

398. El autor puntualiza que «todas las definiciones son producto de un consenso entre las partes interesadas (científicos, periodistas, actores y partes interesadas, etcétera) que participan en el proceso, por lo que el contenido refleja sus puntos de vista reales. Para una definición general, simplemente todavía no sabemos lo suficiente».

14 Scheufele DA, Lewenstein BV. The public and nanotechnology: How citizens make sense of emerging technologies. Journal of Nanoparticle Research 2005;7:659-667.

15 El DRAE no define "nanociencia", y en su edición actual tampoco lo hace con "nanotecnología". En la 23ª edición, para esta segunda palabra indica que se trata de la "Tecnología de los materiales y de las estructuras en la que el orden de magnitud se mide en nanómetros, con aplicación a la física, la química y la biología". Véase Loeve S. About a definition of nano: How to articulate nano and technology? Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry 2010;16(1):3-18. Para este autor habría que utilizar el sentido que Gilbert Simondon da al término "tecnología", considerando que la "nanotecnología" no solamente debería centrar su definición en el prefijo, sino enfatizar la esfera de la tecnología a la cual corresponden sus aplicaciones, tales como "la génesis de objetos individualizados de coordinación de

que posibilitan la toma de decisiones. Existen definiciones en algunos países, y otras adoptadas por organismos supranacionales.

En el Reino Unido se considera que las nanotecnologías «son el diseño, caracterización, producción y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas complejos mediante el control de la forma, el tamaño y las propiedades de la materia a escala nanométrica»[16].

Para la Iniciativa Nacional Nanotecnológica de EEUU (NNI, National Nanotechnology Initiative) se entiende que la nanotecnología «es el entendimiento y control de la materia a dimensiones entre aproximadamente 1 y 100 nanómetros, donde fenómenos únicos permiten aplicaciones nuevas. Abarcando la ciencia a nanoescala, ingeniería y tecnología, la nanotecnología implica imágenes, medición, modelado, y manipulación de la materia a esta longitud de escala»[17].

Para la Unión Europea «Conceptualmente, la nanotecnología se refiere a las actividades científicas y tecnológicas llevadas a cabo a escala atómica y molecular, y a los principios científicos y a las nuevas propiedades que pueden ser comprendidos y controlados cuando se interviene a dicha escala. Estas propiedades pueden ser observadas y explotadas tanto a nivel microscópico como macroscópico, por ejemplo, para el desarrollo de materiales e instrumentos con nuevas funciones y prestaciones»[18].

---

procesos naturales y proyectos humanos"; este énfasis en la dimensión tecnológica de la nanotecnología conduciría a reflexiones éticas basadas en las prácticas de la nanotecnología en lugar de en sus posibles aplicaciones.

16 Royal Society, Royal Academy of Engineering. Op. Cit. p. 5.

17 National Nanotechnology Initiative. Research and development leading to a revolution in technology and industry. Supplement to the President's 2011 Budget. Washington, DC: Office of Science and Technology Policy; 2010. p. 3.

18 Comisión de las Comunidades Europeas. Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías. Bruselas: Comisión de las Comunidades Europeas; 2004. p. 4.

Podría hacerse una verdadera colección de definiciones. Al respecto, la UNESCO[19] dice que: «Las definiciones difieren según lo que más interesa en cada país. En China, Corea y Japón se pone el acento en los materiales y especialmente en la electrónica, mientras que los investigadores africanos y latinoamericanos suelen hacer hincapié en los materiales en el contexto de la medicina y las ciencias ambientales»[20]. Por ello, «Quizá la definición más sencilla y general consista en decir que es la investigación realizada a nanoescala»[21].

De las definiciones mostradas pueden extraerse algunas generalizaciones. La primera es retomar una vieja discusión y recordar que tal vez no puede ser tajante la división entre "ciencia" y "tecnología". Al leer detenidamente la definición de nanotecnología de la Unión Europea es fácil darse cuenta de ello (al mencionar las "actividades científicas y tecnológicas"). Más allá de todas estas consideraciones teóricas, es un hecho que el vocablo más difundido es el de "nanotecnología", y por lo general se asume que al referirse a él se incluyen actividades científicas y tecnológicas, o bien, "tecnocientíficas". La nanotecnología se referiría a toda una plataforma tecnocientífica.

La segunda generalización es que la nanotecnología no se refiere a un tipo específico de tecnología, a una tecnología "en y por sí

---

19 Desde el año 2002 la ética es una de las cinco áreas prioritarias de la UNESCO. ten Have H. The activities of UNESCO in the area of ethics. Kennedy Institute of Ethics Journal 2006;16(4):333-351.

20 Division of Ethics of Science and Technology of UNESCO. The ethics and politics of nanotechnology. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization; 2006. p. 5. Versión en español, División de Ética de la Ciencia y la Tecnología de la UNESCO. Ética y política de la nanotecnología. París: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura; 2007. p. 5.

21 Ibídem.

misma". Se trata, antes bien, de un término que engloba un abanico extenso de aplicaciones y materiales que se manejan a esa escala extremadamente pequeña, la nanoescala.

3.1. Del neolítico al nanolítico

En enfoque histórico es fundamental para las disciplinas científicas y las filosóficas. Gracia[22] dice que «La razón no es sólo lógica sino también histórica; es lógica e histórica. Si la razón lógica fuera capaz de disolver o resolver todos los problemas de la realidad, si todo se pudiera reducir a un problema de matemáticas, entonces la dimensión histórica carecería de importancia; más bien no existiría. Pero no es así. La historicidad es un momento formal del pensamiento racional. La razón es histórica, constitutivamente histórica, debido a su propia inadecuación a la realidad. […] No se trata de un prurito culturalista ni de afán de erudición. Se trata de una estricta necesidad intelectual. Es un error querer enfocar los problemas éticos sólo desde categorías lógicas. Eso no puede conducir más que al fracaso»[23].

Los estudios sociales de la ciencia han indagado el surgimiento de la ciencia moderna en Europa y EEUU, así como los procesos de traslado y adaptación hacia los países emergentes. Un primer mode-

[22] Diego Miguel Gracia Guillén (21 de mayo de 1941; Madrid, España, -). Bioeticista en lengua española con una obra extensa, abarcando desde los problemas de la fundamentación de la bioética, hasta el abordaje de tópicos específicos. Discípulo de Pedro Laín Entralgo (a quien sucede en la Cátedra de Historia de la Medicina en la Universidad Complutense de Madrid) y de Xavier Zubiri (Director Académico de la Fundación Xavier Zubiri); es director de la Fundación de Ciencias de la Salud, Académico de Número de la Real Academia de Medicina y de la Real Academia de Ciencias Morales y Políticas.

[23] Gracia D. Prólogo. Ética y vida. Estudios de bioética. 1. Fundamentación y enseñanza de la bioética. Bogotá: El Búho; 1998. p. 8-9.

lo interpretativo intentaba dar una explicación global y totalizadora, describiendo tres etapas que habrían ocurrido de forma lineal y evolutiva. Existiría un centro productor de la ciencia occidental (Europa o EEUU) y de ahí se esparciría hacia la periferia (los países emergentes), para llenar el vacío científico en estas regiones[24]. Modelo sencillo y reduccionista, pero resulta útil en este momento a modo de inicio; más adelante se va esclareciendo que no es un proceso tan simple.

Con esta aclaración, también es pertinente recordar que existe una historiografía importante en torno a la nanotecnología, una serie de hitos que suelen citarse asociados a algunos personajes determinantes para el inicio y desarrollo posterior de la disciplina. Los fundamentales muy probablemente serían Feynman[25] y Drexler[26]. Sin embargo, hay una "prehistoria" de la nanotecnología.

---

[24] Basalla G. The spread of western science. Science 1967;156:611-622. George Basalla quiere luchar contra interpretaciones más simplistas y estereotipadas que reducen la compleja transformación tecnológica al esfuerzo casi supra-humano y hasta heroico de un puñado de genios individuales (aquellos con la capacidad de sorprender al mundo con su innovación teórica o práctica).

[25] Richard Phillips Feynman (11 de mayo de 1918; Nueva York, EEUU - 15 de febrero de 1988; Los Ángeles, EEUU). Físico estadounidense. En su juventud participó en el proyecto Manhattan. Su trabajo en electrodinámica cuántica le valió el Premio Nobel de Física en 1965 (junto a Julian Schwinger y Sin-Ichiro Tomonaga; The Oficial Web Site of the Nobel Prize. The Nobel Prize in Physics 1965, disponible en URL: http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1965/). Desarrolló un método para estudiar las interacciones y propiedades de las partículas subatómicas utilizando los "diagramas de Feynman". Destacan sus trabajos exploratorios sobre computación cuántica.

[26] Kim Eric Drexler (25 de abril de 1955; Alameda, California, EEUU -). Ingeniero estadounidense. Ha popularizado los potenciales de la nanotecnología durante las décadas de 1970 y 1980. En 1986 Drexler y Christine Peterson (en ese momento esposos) fundaron el Foresight Institute (Foresight Institute, disponible en URL: http://www.foresight.org), con la misión de "Preparación para la nanotecnología". Drexler y Peterson terminaron su matrimonio de 21 años en 2002. Drexler ya no es miembro del Foresight Institute.

El Museo Británico exhibe una copa de vidrio dicroico[27], probablemente elaborada en Roma hacia el Siglo IV a.C.[28] La copa muestra una escena mitológica en torno a Licurgo de Tracia[29]. Luce un color verde a la luz del día (por reflexión), pero si se hace pasar el haz luz por dentro de ella, cambia a un color rojo (por refracción). La causa de este cambio es la presencia de partículas de oro en una suspensión coloidal[30]. El oro se ha utilizado desde la antigüedad para darle ese color rojo al vidrio[31]; parece ser que solamente la copa de Licurgo se conserva intacta. Hoy se sabe que las partículas de oro son nanométricas, y que también contiene nanopartículas de plata[32].

---

27 "Dicroísmo" se refiere en óptica a: 1º La propiedad de aquellos materiales capaces de dividir un haz de luz policromática en diversos haces monocromáticos con distintas longitudes de onda (no confundirse con la dispersión refractiva, o dispersión de la luz blanca al refractarse en *todos* los colores que la constituyen). 2º La propiedad de aquellos materiales que al recibir un rayo luminoso con diferentes planos de polarización absorben en distinta proporción cada uno de ellos tras la reflexión.

28 The British Museum. The Lycurgus Cup. Disponible en URL: http://www.britishmuseum.org/research/collection_online/collection_object_details.aspx?objectId=61219&partId=1&searchText=Lycurgus%20Cup

29 Según la mitología griega, Licurgo de Tracia atacó a Dionisio y a Ambrosia (una de las Meneadas), quien pide ayuda a la Madre Tierra y la transforma en una vid. Así, enreda a Licurgo; la copa captura el momento en que Dionisio, Pan y un sátiro atormentan a Licurgo.

30 Barber DJ, Freestone IC. An investigation of the origin of the colour of the Lycurgus cup by analytical transmission electron microscopy. Achaeometry 1990;32(1):33-45.

31 Wagner FE, Haslbeck S, Stievano L, Calogero S, Pankhurst QA, Martinek KP. Before striking gold in gold-ruby glass. Nature 2000;407:691-692. Leonhardt U. Invisibility cup. Nature Photonics 2007;1:207-208.

32 Freestone I, Meeks N, Sax M, Higgitt C. The Lycurgus Cup – A Roman nanotechnology. Gold Bulletin 2007;40(4):270-277. Ruivo A, Gomes C, Lima A, Botelho ML, Melo R, Belchior A, Pires de Matos A. Gold nanoparticles in ancient and contemporary ruby glass. Journal of Cultural Heritage 2008;9(Suppl 1):e134-e137.

Saltando hasta el siglo xix, habría que recordar a Faraday[33] y la ley de inducción magnética, por la que una variación de flujo magnético produce una fuerza electromotriz; toda la tecnología eléctrica moderna se basa en ello. En la década de 1950 von Neumann[34] resolvió el problema teórico de construir una máquina automática capaz de auto-reproducirse, inspirado en la teoría de la computabilidad (sin tratar la nanoescala); propone los autómatas celulares como un gran conjunto de autómatas capaces de interactuar entre ellos pudiendo auto-reproducirse[35]. En la misma década Bardeen[36] consiguió el transistor

[33] Michael Faraday (22 de septiembre de 1791; Newington, Inglaterra - 25 de agosto de 1867; Londres, Inglaterra). Físico y químico británico. Descubre también las leyes de la electrólisis; con ello, fundador del electromagnetismo y la electroquímica. Se denomina faradio (F) a la unidad de capacidad eléctrica del si de unidades.

[34] John von Neumann (nacido como Neumann János Lajos; 28 de diciembre de 1903; Budapest, Imperio Austrohúngaro - 8 de febrero de 1957; Washington, eeuu). Húngaro-estadounidense, contribuyó en física cuántica, análisis funcional, teoría de conjuntos, ciencias de la computación, economía, análisis numérico, cibernética, hidrodinámica de explosiones, estadística, etcétera.

[35] von Neumann J, Burks AW. Theory of self-reproducing automata. Urbana: University of Illinois Press; 1966.

[36] John Bardeen (23 de mayo de 1908; Madison, eeuu – 30 de enero de 1991; Boston, eeuu). Físico estadounidense. En 1943 rechazó participar en el proyecto Manhattan. En 1945 empezó a trabajar en los Laboratorios Bell de Nueva Jersey realizando investigaciones sobre los semiconductores. En 1951 construyó el transistor junto con Walter Houser Brattain, quien venía trabajando con William Bradford Shockley. En 1956 la tríada recibió el Premio Nobel de Física (The Oficial Web Site of the Nobel Prize. The Nobel Prize in Physics 1956, disponible en url: http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1956/index.html). La primera aplicación de se hizo en los audífonos. Trabajó en la Universidad de Illinois junto a Leon N. Cooper y John Robert Schrieffer para crear la teoría estándar de la superconductividad. Por este otro trabajo los tres científicos fueron galardonados en 1972 con el Premio Nobel de Física (The Oficial Web Site of the Nobel Prize. The Nobel Prize in Physics 1972, disponible en url: http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1972/index.html). Esto lo convierte en el único en haber

(dispositivo compuesto por unos estratos de material semiconductor que regula una señal o abre o cierra un circuito).

Aunque la palabra "nanotecnología" fue acuñada por Taniguchi[37] hasta 1974 (quien propone por primera vez que «la "nanotecnología" consiste principalmente en el proceso de la separación, consolidación, y deformación de materiales por un átomo o una molécula»[38]), suele referirse como el nacimiento de la nanotecnología a una conferencia pronunciada por Feynman. En este texto, la conferencia se considera como el inicio de la historia de la disciplina.

3.1.1. Pasado: La r(evolución) nanotecnológica

3.1.1.1. Feynman y la aproximación "top-down"

Feynman presentó una conferencia en la reunión anual de la Sociedad Americana de Física, en diciembre de 1959[39], que tiene la importancia

---

conseguido el Nobel en física en dos ocasiones (Frederick Sanger lo consiguió dos veces en química; Marie Curie y Linus Pauling un par de veces, una en física y otra en química).

37 Norio Taniguchi (谷口紀男; 27 de mayo de 1912 - 15 de noviembre de 1999). Profesor de la Universidad de la Ciencia de Tokio. Acuñó el término "nanotecnología" en 1974 para describir procesos del semiconductor.

38 Taniguchi N. On the basic concept of nanotechnology. En: Proceedings of the International Congress of Products for Engineering. Tokyo: Japan Society of Precision Engineering; 1974. Reimpreso en: Taniguchi N, Kohno T, Maruyama K, Iizuka K, Miyamoto I, Dohi T. Nanotechnology, integrated processing systems for ultra precision and ultra fine products. Oxford: Oxford University Press; 1996.

39 La conferencia se publicó al año siguiente [Feynman RP. There's plenty of space at the bottom. Engineering & Science 1960;23(1):22-36] y casi inmediatamente después como capítulo de un libro (Feynman RP. There's plenty of space at the bottom. En: Gilbert HD. Miniaturization. New York: Reinhold; 1961. p. 282-296). Las citas subsecuentes se extraen de esta conferencia.

de marcar un "antes" y un "después" en el pensamiento nanotecnológico. Feynman no utiliza la palabra "nanotecnología". En lo que denomina como "miniaturización", se pregunta por qué no escribir los 24 volúmenes de la enciclopedia británica en la cabeza de un alfiler.

Feynman describe la posibilidad de buscar que los equipos de computación sean más pequeños y, al mismo tiempo, más rápidos: «No sé cómo hacer esto en una escala pequeña de un modo práctico, pero sí sé que las máquinas de cómputo son muy grandes; llenan habitaciones. Por qué no podemos hacerlas muy pequeñas, fabricándolas de alambres pequeños, elementos pequeños (y por pequeño, quiero decir pequeño). Por ejemplo, los alambres podrían ser de 10 a 100 átomos de diámetro, y los circuitos deberían tener unos pocos ángstroms de ancho»[40]. Feynman creía que la aproximación general para construir aditamentos en la macroescala podría funcionar en una microescala (nanométrica). Por eso la aproximación se conoce como "top-down", o "de lo grande hacia lo pequeño".

Feynman esboza otra aproximación, que será desarrollada posteriormente (particularmente con Drexler), conocida como "bottom-up", o "desde lo pequeño hasta lo grande". Este acercamiento es el contrario: se trata de construir objetos más grandes a partir de sus componentes atómicos y moleculares: «Una posibilidad que debemos considerar, desde que hemos hablado acerca de escribir colocando átomos en un cierto arreglo»[41].

Feynman también bosqueja que las máquinas que podrían construirse tuviesen aplicaciones específicas; incluso menciona su potencial uso médico: «Colocarían el cirujano mecánico dentro del vaso sanguíneo e iría hacia el corazón y "daría un vistazo". (Desde luego debe alimentársele la información) Averiguaría cuál válvula es la defectuosa y tomaría un cuchillo pequeño y la cortaría. Otras máquinas pequeñas podrían estar incorporadas permanentemente en el cuerpo para ayudar a algunos

40 Ibídem.
41 Feynman RP. Op. Cit.

órganos con funcionamiento inadecuado»[42]. En el fondo, el físico realiza esta serie de consideraciones ya que está seguro de que ninguna de sus afirmaciones violaría alguna de las leyes conocidas de la física de ese momento, por hipotéticas que pudiesen ser: «No discutiré ahora cómo vamos a hacerlo, sino solamente que es posible en principio; en otras palabras, que es posible de acuerdo con las leyes de la física»[43].

Se ha dicho que la conferencia se ha malinterpretado[44], e incluso que se ha mitificado, existiendo la posibilidad de que no haya influido directamente en desarrollos posteriores de la nanotecnología[45], ya que efectivamente precedió en el tiempo al desarrollo nanotecnológico, pero para algunos no estaría tan claro que inspiró tal desarrollo[46]. Tentativas de interpretar las ideas de Feynman desde su propio contexto concluyen que no estaba interesado en construir versiones microscópicas de máquinas existentes, pero tal vez hubiese deseado construir máquinas y herramientas que permitieran a los científicos imitar materiales microbiológicos[47]. Lo que es un hecho es que Feynman fue un verdadero visionario[48], y con ello, sus ideas continuarán reinterpretándose.

---

42 Feynman RP. Op. Cit.

43 Feynman RP. Op. Cit.

44 Drexler KE. Nanotechnology: From Feynman to funding. Bulletin of Science, Technology & Society 2004:24(1):21-27.

45 Toumey C. Apostolic succession. Engineering & Science 2005;68(1&2):16-23.

46 Toumey C. Reading Feynman into nanotechnology: A text for a new science. Techné: Research in Philosophy and Technology 2008;12(3):133-168.

47 Junk A, Riess F. From an idea to a vision: There's plenty of room at the bottom. American Journal of Physics 2006;74(9):825-830.

48 Deberse JT. Sensing the importance of nanosensors: Feynman's visionary 1959 Christmas lecture. Somnologie - Schlafforschung und Schlafmedizin 2007;11(4):268-271.

3.1.1.2. La Ley de Moore

Hacia la década de los años 60's del siglo xx, la tecnología no tenía la popularidad de la que goza actualmente. Innovaciones en electrónica y cómputo modificarían esto. En 1959 se patenta con el nombre de "circuito sólido" al popularmente conocido como "chip", un circuito integrado: una pastilla pequeña de material semiconductor, de algunos milímetros cuadrados de área, sobre la que se fabrican circuitos electrónicos y que está protegida dentro de un encapsulado de plástico o cerámica; el encapsulado posee conductores metálicos apropiados para hacer conexión entre la pastilla y un circuito impreso. Conceptualizado por primera vez por Dummer[49], y creado por Kilby[50], aparece en el mercado en 1961.

En 1965 una revista pide a Moore[51] que escribiera cómo sería la electrónica en la próxima década. En el artículo se lee: «La complejidad de los componentes se ha multiplicado aproximadamente por

---

[49] Geoffrey William Arnold Dummer (25 de febrero de 1909; Hull, Inglaterra – 16 de septiembre de 2002; Malvern, Inglaterra). Ingeniero electrónico británico.

[50] Jack St. Clair Kilby (8 de noviembre de 1923; Jefferson City, Missouri, EEUU – 20 de junio de 2005; Dallas, Texas, EEUU). Master en ingeniería eléctrica, Premio Nobel de física en 2000 (junto a Zhorés Ivánovich Alfiórov y Herbert Kroemer; The Oficial Web Site of the Nobel Prize. The Nobel Prize in Physics 2000, disponible en URL: http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2000/). Inventó, además del circuito integrado (junto a Robert Noyce), la calculadora de mano y la impresora térmica, consiguiendo más de 60 patentes.

[51] Gordon Earl Moore (3 de enero de 1929; San Francisco, California, EEUU -). Doctor en física y química en el California Institute of Technology (Caltech) en 1954. Trabajó con Shockley en su Laboratorio de Semiconductores (división de Benchmark Instruments), pero se retira cuando Sherman Mills Fairchild estuvo de acuerdo en apoyarlos y crear la Corporación de Semiconductores Fairchild. En el 2003 fue elegido como miembro de la AAAS (American Association for the Advancement of Science).

2 cada año. A corto plazo, se puede esperar que esta tasa se mantenga, o incluso que aumente. A largo plazo, la tasa de aumento es un poco más incierta, aunque no hay razón para creer que no permanecerá constante por lo menos durante 10 años. Esto significa que para 1975, el número de componentes en cada circuito integrado de mínimo coste será de 65'000. Creo que un circuito tan grande puede construirse en una sola oblea»[52]. Luego de enunciar la ley que lleva su nombre, fundó Intel[53] junto a Noyce[54].

Una década después de enunciar sus predicciones, y habiendo comprobado con más experiencia los resultados de ellas, Moore pensó que el ritmo se ralentizaría y modificó el tiempo de duplicación (fijándolo en 2 años) en una reunión del Institute of Electrical and Electronic Engineering (IEEE). En la actualidad suele citarse que la duplicación del número de transistores en un chip se daría cada 18 meses (aunque Moore no estableció esto, ya que fueron sus compañeros en Intel quienes introdujeron esa cifra).

---

52 Moore GE. Cramming more components onto integrated circuits. Electronics 1965;38(8):114-117.

53 Intel Corporation es el fabricante más grande de chips semiconductores (basándose en sus ingresos). La compañía es la creadora de la serie de procesadores x86, los más comúnmente encontrados en la mayoría de los equipos personales de cómputo. Intel fue fundada el 18 de julio de 1968 como Integrated Electronics Corporation. Tiene su base en Santa Clara, California, EEUU.

54 Robert Norton Noyce (12 de diciembre de 1927; Burlington, Iowa, EEUU – 3 de junio de 1990; Austin, Texas, EEUU). Doctor en física por el Massachusetts Institute of Technology (MIT), cofundador de Fairchild Semiconductor en 1957 y de Intel en 1968. Co-inventor, con Kilby, del circuito integrado. Mentor y figura paterna de toda una generación de emprendedores, entre los que se incluye a Steve Jobs (nacido Steven Paul Jobs; 24 de febrero de 1955; San Francisco, California, EEUU - 5 de octubre de 2011; Palo Alto, California, EEUU; fue cofundador y presidente ejecutivo de Apple, Inc., fundador de Pixar, etcétera).

El propio Moore ha dicho que su ley tiene caducidad[55], ya que no puede sostenerse indefinidamente ese proceso de miniaturización por dos razones. La primera es física: el tamaño de los átomos es una barrera; la segunda es económica: se supone que conforme se miniaturizan los transistores el costo baja (tal vez trabajar en la escala nanométrica haga que este proceso no sea ya económicamente rentable como hasta la fecha).

La "Ley de Moore" no es una ley en el sentido científico, pero ha sentado las bases del desarrollo exponencial de los microprocesadores, que ha dado lugar a la mejora espectacular de ordenadores personales, internet, telefonía móvil, videojuegos, dispositivos como el Global Positioning System (GPS), juguetes, semáforos de tránsito, etcétera. Basta a modo de ejemplo los equipos portátiles de computación y su masiva popularización en la actualidad. En 1981 el modelo Ejecutivo Osborne[56] pesaba 100 veces más, tenía 500 veces más volumen, y costaba 10 veces más que el contemporáneo iPhone, el cual tiene un poder de procesamiento de datos 100 veces superior al Osborne. Se dice rápido,

---

[55] Dubash M. Moore's Law is dead, says Gordon Moore. Techworld, 13 de abril de 2005, disponible en URL: http://www.techworld.com/opsys/news/index.cfm?NewsID=3477

[56] El primer ordenador portátil comercializado masivamente en la historia fue el Osborne 1, lanzado al mercado en abril de 1981, diseñado por Lee Felsenstein (27 de abril de 1945; Philadelphia, Pennsylvania) para la Osborne Computer Corporation (compañía fundada en 1980 por Adam Osborne; 6 de marzo de 1939; Bangkok, Tailandia - 18 de marzo de 2003; Kodaikanal, India; escritor, empresario y emprendedor de origen británico, posteriormente nacionalizado estadounidense). Las ventas del Osborne 1 alcanzaron las 10.000 unidades mensuales, todo un desafío para la capacidad de producción de la empresa. Se enunciaron nuevos productos: el Osborne Executive y el Osborne Vixen, lo que coincidió con el infortunio en las ventas de la compañía (lo que desde entonces de denomina "efecto Osborne"). Gómez Sánchez R. Adam Osborne. Apuntes sobre un efímero éxito. Entelequia. Revista Interdisciplinar 2007;5:319-324.

pero el cumplimiento de la ley de Moore ha hecho posible esta disminución de tamaño aunada a la ganancia en velocidad y memoria.

3.1.1.3. Explorando el nanonivel

En 1981, dos investigadores de la empresa IBM dan a conocer el microscopio de efecto túnel (Scanning Tunnel Microscope; STM), que permitió por primera vez ver superficies con resolución atómica; se trataba de Rohrer[57] y Binning[58]. El invento utiliza corrientes de electrones y aplica una consecuencia de la mecánica cuántica para poder ver la topología con esa precisión. Recibieron junto a Ruska[59] el Premio Nobel de física en 1986[60]. Esta herramienta ha sido la antecesora de los microscopios de proximidad, que permiten medir otras propiedades (fuerzas, intensidad luminosa, etcétera) a escala nanométrica, y lo que es más importante, manipular a voluntad la posición de los átomos sobre una superficie[61].

---

57 Heinrich Rohrer (6 de junio de 1933; San Galo, Suiza - 16 de mayo de 2013; Wollerau, Suiza). Doctor en física por el Instituto Federal Suizo de Zurich; estudió con Wolfgang Pauli y Paul Scherrer.

58 Gerd Binnig (20 de julio de 1947; Frankfurt, Alemania). Doctor en física por la Universidad de Frankfurt en 1978. Trabaja en el laboratorio de investigación de IBM en Zurich.

59 Ernst August Friedrich Ruska (25 de diciembre de 1906; Heidelberg, Alemania – 25 de mayo de 1988; Berlín, Alemania). Ingeniero electrónico alemán. Construyó el primer microscopio electrónico junto a Max Knoll.

60 The Oficial Web Site of the Nobel Prize. The Nobel Prize in Physics 1986, disponible en URL: http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1986/index.html

61 El 28 de septiembre de 1989 Donald Eigler y Erhard Schweizer del Centro de investigación Almaden de IBM "escribieron" el nombre de la compañía manipulando 35 átomos de xenón sobre una superficie de níquel. Toumey C. 35 atoms that changed the nanoworld. Nature Nanotechnology 2010;5(4):239-241.

3.1.1.4. Elaborando nanopartículas

Mientras los físicos elaboraban teorías acerca de la nanoescala, y los ingenieros buscaban la forma de capturar imágenes, los químicos hacían lo suyo. En la década de 1980 se sabía que el carbono puede adoptar varias formas, pero en 1985 Smalley[62], Curl[63] y Kroto[64] descubren una nueva estructura: una molécula con 60 átomos de carbono (C_{60}) en el que ninguno de los pentágonos que lo componen comparte un borde. La estructura de C_{60} es la de una figura geométrica truncada y se asemeja a un balón de fútbol (domo geodésico), constituido por 20 hexágonos y 12 pentágonos, con un átomo de carbono en cada una de las esquinas de los hexágonos y un enlace a lo largo de cada arista. La denominan como Buckminsterfullereno en honor al arqui-

---

62 Richard Errett Smalley (6 de junio de 1943; Akron, Ohio, EEUU – 28 de octubre de 2005; Houston, Texas, EEUU). Doctor en química por la Universidad de Princeton en 1973; profesor de química en Rice.

63 Robert Floyd Curl (23 de agosto de 1933; Alice, Texas, EEUU -). Doctor en química por la Universidad de Berkeley, profesor emérito de Rice. Investiga los procesos fisicoquímicos del DNA, desarrollando instrumentos de rayos infrarrojos para seguir el rastro cuántico en su secuenciación.

64 Harold Walter Kroto (7 de octubre de 1939; Wisbech, Inglaterra -30 de abril de 2016; Lewes, Inglaterra). Nacido como Harold Krotoschiner en una familia de migrantes judíos polacos y alemanes que huyeron de la Alemania nazi en la década de 1930. Estudió física, química y matemáticas en la Universidad de Sheffield, doctorándose en química en 1964; actualmente profesor de la Universidad de Sussex.

tecto Fuller[65]. Por este descubrimiento recibieron el Premio Nobel de química en 1996[66].

Los buckminsterfullerenos (o simplemente fullerenos) son la tercera forma más estable del carbono[67], tras el diamante y el grafito. Los fullerenos esféricos reciben el nombre de buckyesferas y los cilíndricos el de buckytubos o nanotubos. Éstos se describen claramente por vez primera en 1991 por Iijima[68], aunque hay antecedentes de investiga-

---

[65] Richard Buckminster Fuller (12 de julio de 1895; Milton, Massachussets, EEUU - 1 de julio de 1983; Los Ángeles, California, EEUU), diseñador, ingeniero, visionario e inventor estadounidense, profesor en la Southern Illinois University Carbondale. Su trabajo más conocido en arquitectura es la cúpula geodésica (afamada en la exposición de Montreal de 1967). Consiste en parte de una esfera geodésica, un poliedro generado a partir de un icosaedro o un dodecaedro, aunque puede generarse de cualquiera de los sólidos platónicos (también llamados cuerpos platónicos, cuerpos cósmicos, sólidos pitagóricos, sólidos perfectos, poliedros de Platón o, con más precisión, poliedros regulares convexos), caracterizados por ser poliedros convexos cuyas caras son polígonos regulares iguales y en cuyos vértices se unen el mismo número de caras (una lista exhaustiva incluye el tetraedro, el cubo o hexaedro regular, el octaedro, el dodecaedro y el icosaedro; es imposible construir otro sólido diferente de los anteriores que cumpla las propiedades exigidas: convexidad y regularidad).

[66] The Oficial Web Site of the Nobel Prize. The Nobel Prize in Physics 1996, disponible en URL: http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1996/

[67] Los fullerenos no han tenido tantas aplicaciones como se pensaba hasta la década de los años 90 del siglo XX. Valcárcel Cases M. Las nanoestructuras de carbono en la nanociencia y nanotecnología analíticas. Madrid: Real Academia Nacional de Farmacia; 2010. Queda mucho pendiente por conocerse; por ejemplo, falta esclarecer el papel que juegan en el universo, ya que se ha encontrado que pueden formarse eficientemente en el espacio. Cami J, Bernard-Salas J, Peeters E, Malek SE. Detection of C60 and C70 in a young planetary nebula. Science 2010;329(5996):1180-1182.

[68] Sumio Iijima (飯島 澄男; 2 de mayo de 1939; Saitama, Japón -). Físico japonés especialista en materiales avanzados y nanotecnología. Doctor en física en 1968 por la Universidad Tohoku de Sendai. Actualmente es director del Centro de

ciones realizadas por Endo[69] en la década de 1970, y por un par de rusos en la década de 1950[70].

Continuando los trabajos sobre el carbono, el Premio Nobel de física de 2010 fue otorgado a Gueim[71] y Novosiolov[72] por sus trabajos pioneros en el desarrollo del grafeno[73], componente estructural básico de todos los demás elementos grafíticos (grafito, nanotubos, etcétera).

Investigación para el Avance de los Materiales de Carbón del Instituto Nacional de Ciencia Industrial Avanzada y Tecnología de Japón y decano del Instituto Avanzado de Nanotecnología de la Universidad de Sungkyunkwan (Seúl, Corea del Sur). Premio Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica 2008 (junto a Shuji Nakamura, Robert Langer, George M. Whitesides y Tobin Marks; Fundación Príncipe de Asturias. Premio Príncipe de Asturias de la Investigación Científica y Técnica 2008. Disponible en URL: http://www.fpa.es/es/premios-princesa-de-asturias/premiados/2008-sumio-iijima-shuji-nakamura-robert-langer-george-m-whitesides-y-tobin-marks.html?especifica=0). Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon. Nature 1991;354(6348):56-58. Iijima S, Ichihashi T. Single-shell carbon nanotubes of 1-nm diameter. Nature 1993;363(6430):603-605.

[69] Morinobu Endo (遠藤 守信, 28 de septiembre de 1946; Suzaka, Nagano, Japón -). Doctor por la universidad de Orléans, Francia. Pionero en las investigaciones de nanofibras de carbono y de la síntesis de nanotubos de carbono. Actualmente es Director del Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbón, Universidad de Shinshu.

[70] Monthioux M, Kuznetsov VL. Who should be given the credit for the discovery of carbon nanotubes? Carbon 2006;44:1621-1623.

[71] Andréy Konstantínovich Gueim (Андрей Константинович Гейм; 1958; Sochi, URSS -). Físico ruso nacionalizado holandés.

[72] Konstantín Serguéievich Novosjolov (Константи́н Серге́евич Новосёлов; 23 de agosto de 1974; Nizhny Tagil, URSS). Físico ruso nacionalizado británico.

[73] Estructura laminar plana, de un átomo de grosor, compuesta por átomos de carbono densamente empaquetados en una red cristalina en forma de panal de abeja mediante enlaces covalentes que se formarían a partir de la superposición de los híbridos sp^2 de los carbonos enlazados.

3.1.1.5. Drexler y la aproximación "bottom-up"

En 1981 Drexler publica un artículo donde perfila algunas ideas fundamentales para la nanotecnología, por lo que algunos le consideran el iniciador de la disciplina[74]. Toma como ejemplo y fuente de inspiración a la naturaleza para la generación de nanorobots, realizando una serie de analogías entre proteínas enzimáticas y abrazaderas, proteínas transmembranales y bombas, etcétera.[75]

En 1986 aparece un texto de Drexler el cual se ha convertido en referencia casi obligada: *Engines of creation*[76]. Drexler se encuentra en

---

[74] Unos consideran como iniciador a Feynman, otros a Taniguchi; incluso, hay quien propone al ex-presidente de EEUU William Jefferson "Bill" Clinton por haber comenzado la financiación pública de la nanotecnología. Para algunos, sigue sin respuesta la pregunta de ¿quién es el "padre" de la nanotecnología? Yadugiri VT, Malhotra R. 'Plenty of room' - Fifty years after the Feynman lecture. Current Science 2010;99(7):900-907.

[75] Drexler KE. Molecular engineering: An approach to the development of general capabilities for molecular manipulation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA 1981;78(9):5275-5278. «Estos argumentos indican la viabilidad de dispositivos capaces de mover objetos moleculares, posicionarlos con precisión atómica, aplicarles fuerzas para lograr un cambio, revisarlos para verificar que el cambio ha sido realizado efectivamente». El término de "ingeniería molecular" ha sido ampliamente popularizado por Drexler, pero es tan antiguo como la conferencia de Feynman, solamente que no parece que se haya popularizado desde entonces. von Hippel AR. Molecular science and molecular engineering. New York: Technology Press of MIT - John Wiley & Sons, Inc.; 1959. (Arthur Robert von Hippel; 19 de noviembre de 1898 – 31 de diciembre de 2003; físico y científico de materiales, germano-estadounidense; pionero en el estudio de materiales ferromagnéticos, ferroeléctricos y semiconductores; co-desarrolló el radar durante la II Guerra Mundial).

[76] Drexler KE. Engines of creation: The coming era of nanotechnology. New York: Anchor Books; 1986. Versión en libro electrónico, Drexler KE. Engines of creation 2.0: The coming era of nanotechnology - Updated and expanded. E-book: WOWIO Books; 2007. (Las citas en este trabajo se extraen de esta edición). Versión en español, Drexler KE. La nanotecnología: El surgimiento de las máquinas de creación. Barcelo-

otro momento histórico (tenía casi cuatro años cuando Feynman pronunciara su famosa conferencia), bajo otras condiciones (desarrollo de la microscopia, descubrimiento de los fullerenos, etcétera), que en parte le permiten desarrollar un enfoque apenas esbozado y poco trabajado en la conferencia de Feynman: la aproximación "bottom-up" de la nanotecnología.

Drexler utiliza muchos modelos tomando como referencia la bioquímica; un ejemplo serían los ribosomas, organelos celulares de aproximadamente 30 nm encargados básicamente de la síntesis proteica: «Los ribosomas son prueba de que nanomáquinas construidas con proteínas y RNA pueden ser programadas para crear moléculas complejas»[77]. Si a ese nivel nanométrico fuese posible programar nanomáquinas y refinar su trabajo, podría hacerse prácticamente cualquier cosa a esa escala: «Los ensambladores serán capaces de construir todo lo que los ribosomas pueden, y más; por lo tanto, los replicadores basados en ensamblador serán capaces de hacer todo lo que puede la vida, y más»[78]. En ese momento del desarrollo nanotecnológico el problema no sería *cómo* hacerlo, sino *qué* hacer: «El mayor problema será decidir qué queremos»[79].

Drexler también habla del auto-ensamblaje, diciendo que «Aquí, la bioquímica es central: los mecanismos de reacción enzimática proporcionan ejemplos de lo que muchas nanomáquinas necesitarán hacer; la participación de las proteínas y el auto-ensamblaje de los sistemas de proteínas proporcionan ejemplos de la complejidad de la primera generación de las máquinas moleculares que pueden ser hechas. La familiaridad con estos campos es de gran importancia para cualquier persona interesada en

---

na: Gedisa; 1993.

77 Ibídem. p. 66.

78 Drexler KE. Engines of creation 2.0 Op. Cit. p. 354-355.

79 Drexler KE. Engines of creation 2.0 Op. Cit. p. 221.

facilitar estas tecnologías»[80]; nuevamente con ejemplos extraídos de la naturaleza, tales como los virus, «podríamos hacer que las máquinas hasta el tamaño de los virus, máquinas que trabajarían a velocidades que ninguno de nosotros todavía puede apreciar»[81]. La idea del auto-ensamblaje a escala nanométrica es fundamental, y es trabajada por la química supramolecular[82]. Al año siguiente de la primera edición del libro, el Premio Nobel de química[83] fue concedido a Cram[84], Lehn[85] y Pedersen[86], cuyas investigaciones han sido cruciales para el desarrollo de ese campo de la química.

---

80 Drexler KE. Engines of creation 2.0 Op. Cit. p. 488.

81 Drexler KE. Engines of creation 2.0 Op. Cit. p. 20 (en p. 66 menciona el bacteriófago T4 y sigue hablando de los virus a lo largo de la obra).

82 Área de la química que estudia los sistemas compuestos por un número discreto de subunidades moleculares o componentes que se ensamblan. Algunos conceptos importantes en química supramolecular incluyen: autoensamblaje, plegamiento, reconocimiento molecular, etcétera.

83 The Oficial Web Site of the Nobel Prize. The Nobel Prize in Physics 1987, disponible en URL: http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1987/index.html

84 Donald James Cram (22 de abril de 1919; Chester, Vermont, EEUU – 17 de junio de 2001; Palm Desert, California, EEUU). Doctor en química orgánica por la Universidad de Harvard en 1947. Sentó las bases para la síntesis de enzimas en laboratorios y otras moléculas cuyo comportamiento químico es debido a su estructura. También trabajó en estereoquímica.

85 Jean-Marie Pierre Lehn (30 de septiembre de 1939; Rosheim, Francia -). Doctor en química por la Universidad de Estrasburgo en 1963. Desarrolló la síntesis química de la vitamina B12 con Robert Burns Woodward en Harvard. Propuso una terminología que se adoptó en la nomenclatura química orgánica: las cavidades que existen dentro de las moléculas las llamó criptas, criptando los componentes y criptatos sus complejos.

86 Charles John Pedersen (3 de octubre de 1904; Busán, Corea – 26 de octubre de 1989; Salem, EEUU). Químico estadounidense, hijo de padre noruego y madre japonesa (su primer nombre era Yoshio, 良男). En 1920 se muda a EEUU para estudiar ingeniería química en la Universidad de Dayton (Ohio), y su máster en química orgánica en el MIT. Desde 1925 hasta su jubilación trabajó con la empresa DuPont. Mostró que era posible fabricar en un laboratorio moléculas que pueden reaccionar selectivamente con otros átomos y compuestos de manera que sean selectivas (tal como lo hacen los enzimas).

El libro de Drexler no solamente es especial por estos y otros aspectos: lo es porque no se trata precisamente de un tratado científico (Drexler obtiene su doctorado seis años después de este libro), pero tampoco se trata de una obra de ciencia ficción[87].

3.1.2. Presente: Nanotecnología común

La nanotecnología común (o nanotecnología ordinaria) corresponde a la nanotecnología en el mundo real contemporáneo, producto de combinar lo que empíricamente se desarrolla en nanotecnología con la perspectiva teórica que considera el trabajo relativamente rutinario de científicos que utilizan teorías científicas establecidas[88].

Los trabajadores de la nanotecnología común incluyen físicos, químicos, ingenieros, médicos, etcétera, quienes ven su propio trabajo como una extensión de otras investigaciones científicas. La nanotecnología común se enfoca en productos que ya se encuentran en el mercado actual: electrónica, cómputo, materiales más fuertes y a la vez más ligeros, etcétera. Su trabajo pone de manifiesto problemas éticos que se echan su raíz en los desarrollos de los campos de origen: balance de riesgos y beneficios, aspectos éticos medioambientales, cuestiones de seguridad y privacidad, justicia en la asignación de recursos, ética de investigación de nuevos productos, etcétera. Esto corresponde al presente nanotecnológico.

Aunque la difusión de estos conocimientos ha sido bastante menor que las preocupaciones que han despertado las aplicaciones de la nano-

---

87 Al respecto se ha dicho que mientras libro de Drexler no es «ciencia ficción *per se*, está claramente situado incómodamente entre la imaginación y la realidad». Berube DM. Nano-hype: The truth behind the nanotechnology buzz. New York: Prometheus Books; 2006. p. 55.

88 Siguiendo más los criterios de Kuhn que los de Popper. Kuhn TS. La estructura de las revoluciones científicas. Madrid: Fondo de Cultura Económica; 2007.

tecnología, hay mucho más de lo que se imagina. Solamente a modo de ejemplo algunos datos disponibles en el Proyecto de Nanotecnologías Emergentes del Centro de Estudios Internacionales Wodroow Wilson[89]. Al 2010 existían ya algo más de 1000 artículos producidos por casi 500 empresas en más de una veintena de países. Los productos incluyen adhesivos dentales, pintura, ropa, cosméticos, protectores solares, enseres de aseo personal, artículos deportivos, aparatos de filtración, etcétera. Las cifras son enormes, aún más si se piensa que los datos son aproximados, toda vez que no hay forma de exigir información exhaustiva, algunas empresas no actualizan la información proporcionada, y otras tantas pueden estar sacando a la venta productos con nanomateriales sin el visto bueno de las autoridades (en la mayoría de los países el vacío legal respecto de estos temas es casi una constante).

Dentro de la larga lista de etcéteras que pueden agregarse a los productos basados o desarrollados en nanotecnología, también se encuentran aplicaciones para la atención a la salud[90], motivo de este trabajo.

3.1.3. Futuro: Pequeña escala con grandes promesas

Por "nanotecnología futurista" se entiende aquella con la cual, llevada a todas sus posibilidades, sería factible producir cualquier cosa a partir de basura, aire y agua manejando sus átomos uno a uno; eliminar todas las necesidades físicas a través de la abundancia; producir dispositivos e implantes que mejoren la propia especie humana hasta, eventualmente, eliminar la enfermedad e incluso la muerte. Se llegaría del transhumanismo[91]

---

89 The Project on Emerging Technologies. Disponible en URL: http://www.wilsoncenter.org/publication-series/project-emerging-nanotechnologies

90 Gazit E. Plenty of room for biology at the bottom: Introduction to bionanotechnology. London: Imperial College Press; 2007.

91 Filosofía y movimiento intelectual que apoya el empleo de las nuevas cien-

al posthumanismo[92]. Muchas aplicaciones de la biotecnología, a escala nanométrica, no hace mucho tiempo se consideraban parte del futuro[93] (y en buena medida siguen siendo futuristas).

Aquí ya no se puede decir que exista un grupo de especialistas de su área trabajando para ello; se trata más de una cuestión teórica hacia el futuro. Por ejemplo, el Consejo Nacional de Investigación de EEUU ha dicho sobre la manufactura molecular que «este trabajo se encuentra actualmente fuera de la corriente de la ciencia convencional (diseñada para buscar conocimiento nuevo) y de la ingeniería convencional (por lo general relacionada con el diseño de las cosas que se pueden construir más o menos inmediata)»[94].

Es importante rescatar que toda creación humana previamente fue una idea. Sin embargo, parece ser que hay que hacer alguna distinción entre lo importante y lo urgente. Desde luego, es importante la discusión sobre la mejora humana a través de la nanotecnología, probablemente a través de nanodispositivos electrónicos implantados en el cerebro (donde habría

---

cias y tecnologías para mejorar las capacidades mentales y físicas con el objeto de corregir lo que considera aspectos indeseables e innecesarios de la condición humana (sufrimiento, enfermedad, envejecimiento, mortalidad). Los pensadores transhumanistas estudian las posibilidades y consecuencias de desarrollar y usar la tecnología con estos propósitos, reflexionando sobre los peligros y los beneficios de estas manipulaciones.

92 Designa un futurible estado en el que la especie humana una vez que sea capaz de superar sus limitaciones intelectuales y físicas mediante el control tecnológico de su propia evolución biológica.

93 Sager B. Scenarios on the future of biotechnology. Technological Forecasting & Social Change 2001;68:109-129.

94 Committee to Review the National Nanotechnology Initiative, National Materials Advisory Board, Division on Engineering and Physical Sciences, National Research Council of the National Academies. A matter of size: Triennial review of the National Nanotechnology Initiative Committee to review the National Nanotechnology Initiative. Washington, DC: National Academy Press; 2006. p. 124.

que introducir otro novel campo, el de la neuroética). También es importante considerar cómo sería la programación ética de los nanorobots que podrían ayudar en tareas relacionadas con la salud. Pero ninguno de estos dos tópicos parece ser urgentes, no con el desarrollo tecnológico actual. Este es el motivo de la distinción. Los problemas éticos de la nanotecnología ordinaria son más urgentes que los planteados por la nanotecnología futurista, aunque ambos sean importantes. No se trata de desdeñar unos problemas, sino meramente de priorizar el análisis de unos sobre otros.

3.2. Nanotecnología aplicada

Existen diferentes metodologías que abordan la nanoescala[95]: herramientas ópticas; imagen; métodos de superficie; espectrometría de masas; etcétera. Cuando estas metodologías (y otras) se aplican en torno a un objeto de estudio, puede hablarse de la aplicación de la nanotecnología o de la nanotecnología aplicada. Puede ser en áreas como el cómputo, la robótica, el medio ambiente, etcétera. Otras más controvertidas podrían incluir la industria de las armas. En adelante, se acotan las posibilidades nanotecnológicas para la atención a la salud, lo que genera situaciones especiales y nuevas dudas éticas. Para delimitar el análisis a la atención a la salud es necesario introducir algunas precisiones terminológicas que se utilizarán a lo largo del trabajo.

3.2.1. La necesaria (y problemática) partícula "bio"

De acuerdo con Gracia, «Gran parte de la ambigüedad del término bioética se debe a la propia de las palabras que la componen. El tér-

[95] Boisseau P, Houdy P, Laman M. Nanoscience: Nanobiotechnology and nanobiology. Berlin: Springer-Verlag; 2007.

mino vida es tan amplio, que puede ser interpretado de modos muy distintos, tanto deontológico ("santidad de la vida") como teleológicos ("calidad de vida"). De ahí que de la bioética se hayan dado también estas distintas versiones. Las éticas de raíz teológica, judías, cristianas y musulmanas, creyeron ver en la nueva palabra la expresión de su criterio de santidad de vida. Y las éticas seculares, sobre todo las utilitaristas, la hicieron sinónimo de calidad de vida»[96].

Así como la introducción de la partícula "bio" al vocablo "ética" ha causado algo de ambigüedad, lo mismo ha ocurrido cuando se ha introducido en la "nanotecnología", teniendo al menos dos neologismos posibles[97]: "nanobiotecnología" y "bionanotecnología". Siguen existiendo publicaciones que tratan los términos como sinónimos[98], y aunque a primera vista podrían parecerlo, se puede establecer una cierta distinción entre ambos que para nada es irrelevante.

Es destacable mencionar que el término "nanobiotecnología" aparece en la base de datos PubMed en el año 2000[99], mientras que "bionanotecnología" aparece hasta el 2003[100]. El primer término es mucho más común que el segundo, aunque en muchos casos el uso del segundo habría sido mucho más apropiado.

---

96 Gracia D. Planteamiento general de la bioética. En: Gracia D. Ética y vida. Estudios de bioética. 1. Fundamentación y enseñanza de la bioética. Op. Cit. p. 11-28 (cita de la p. 11).

97 Gazit E. Chapter 1. Introduction: Nanobiotechnology and bionanotechnology. En: Gazit E. Op. Cit. p. 1-15.

98 Gao J, Xu B. Applications of nanomaterials inside cells. Nano Today 2009;4(1):37-51.

99 Laval JM, Mazeran PE, Thomas D. Nanobiotechnology and its role in the development of new analytical devices. The Analyst 2000;125(1):29-33.

100 He xx, Wang K, Tan W, Liu B, Lin X, He C, Li D, Huang S, Li J. Bioconjugated nanoparticles for DNA protection from cleavage. Journal of the American Chemical Society 2003;125(24):7168-7169.

En términos sencillos, "nanobiotecnología" se refiere a la aplicación de la nanotecnología para el desarrollo y mejora de los procesos y productos biotecnológicos. Esto incluye el uso de técnicas de fabricación y la manipulación a nanoescala para elaborar métodos de diagnóstico más sensibles y precisos como el "laboratorio en un chip" ("lab-on-chip") y nanosensores de tiempo real. Esto también incluye el uso de matrices en el orden de la nanoescala para la liberación controlada de fármacos, así como la ingeniería tisular y de regeneración. Las direcciones futuristas más adelantadas podrían llegar a ser el desarrollo de dispositivos de manipulación a nanoescala ("nanorobots" o "nanobots") para realizar procedimientos médicos en pacientes, así como nanomáquinas que servirían como una alternativa artificial a órganos biológicamente funcionales. Las aplicaciones reales y potenciales de la nanobiotecnología podrían revolucionar la atención a la salud al permitir un diagnóstico más temprano de algunas enfermedades, la monitorización en línea de procedimientos terapéuticos, y la formación de tejido en tubos de ensayo. La nanobiotecnología es, entonces, el uso de la nanotecnología para aplicaciones biológicas específicas (nanomatrices diagnósticas, ingeniería tisular en nanoplantillas, etcétera).

Por otra parte, "bionanotecnología" se refiere en términos sencillos al uso de la biotecnología en la nanotecnología. Se emplea para describir el uso de bloques biológicos de construcción, así como la utilización de su especificidad y actividad biológica para el desarrollo de la tecnología moderna en la nanoescala. Tal práctica bionanotecnológica, obviamente no se limita a aplicaciones biológicas, ya que tiene un alcance mucho más amplio. Por ejemplo, las aplicaciones futuras de bionanotecnología podría incluir el uso de oligómeros de DNA, nanotubos de péptidos, proteínas o fibras para la fabricación de nanocables metálicos, interconexiones y/u otros elementos físicos en la nanoescala, que podrían ser utilizados en electrónica molecular, así como en aplicaciones y dispositivos nanoelectromecánicos. Otras posibilidades pueden incluir

la formación de materiales novedosos con rigidez, superficie química u otras propiedades fisicoquímicas únicas, las cuales podrían ser útiles en la industria automotriz o en la aeroespacial. La bionanotecnología es, entonces, el uso de piezas biológicas para aplicaciones varias que pueden no estar directamente relacionadas con la biología (algunas herramientas biológicas podrían ser nanoestructuras de auto-ensamblaje, materiales bioinspirados, electrónica biomolecular, etcétera).

A pesar de la distinción entre nanobiotecnología y bionanotecnología, también puede proponerse el término de "nanobiología" para aquellas aplicaciones complejas donde se cruzan ambas áreas. Un ejemplo de cara hacia el futuro sería la biónica y en general toda tecnología de inspiración biológica (o bioinspirada). "Biónica" deriva de bio – electrónica, y podría describirse como la aplicación de principios y mecanismos biológicos para el diseño y fabricación de sistemas de ingeniería. Un ejemplo a nivel "macro" sería el uso de la nariz del delfín como modelo de una protuberancia en forma de pera colocada en la proa de los buques, o bien, o las superficies auto-limpiadoras que se basan en las propiedades de la superficie de las hojas de loto. En el nivel de la nanoescala podría ocurrir algo similar hacia el futuro, desde aplicaciones sencillas hasta la formación de estructuras mucho más complejas como motores moleculares o incluso máquinas moleculares.

Con estas distinciones y acotaciones no se intenta abarcar toda posible aplicación nanotecnológica, ya que muchas quedan fuera de las áreas de bionanotecnología y de nanobiotecnología (por ejemplo, la industria armamentista que se desarrolla independientemente de aplicaciones biotecnológicas, aunque utilice nanotecnología). Además, el manejo de estos términos no es del todo uniforme en la literatura disponible, ni en inglés ni en español. Esta distinción terminológica intenta esclarecer y delimitar conceptualmente este terreno, para que el análisis sea más propio y no deje lugar a ambigüedades, en la medi-

da que esto es posible al momento actual. Por ello, esta distinción se conserva en el trabajo y se retoma más adelante.

4. Resumen

La "nanotecnología" corresponde a la investigación realizada a nanoescala. Al referirse a la nanotecnología se incluyen actividades científicas y tecnológicas, "tecnocientíficas". Así, la nanotecnología no se refiere a un tipo específico de tecnología, se trata más bien de un término que engloba un abanico extenso de aplicaciones y materiales que se manejan a esa escala extremadamente pequeña. El desarrollo nanotecnológico ha descubierto que los materiales conocidos, cuando se les estudia en la nanoescala, presentan propiedades ópticas, magnéticas y eléctricas modificadas respecto de las que tienen en la macroescala, debido a un efecto cuántico, lo que es importante para las consideraciones éticas que se realicen respecto a sus aplicaciones. La nanotecnología cuenta con algunos antecedentes y una breve historia, donde destacan una conferencia pronunciada por Feynman en 1959, y un texto publicado por Drexler en 1986; entre estos dos eventos aparecen avances en electrónica que dan origen a la ley de Moore, la microscopía de efecto túnel (que permite ver superficies con resolución atómica), y el inicio del estudio de nanopartículas de carbono y otros elementos. A la fecha puede hablarse de una nanotecnología común (u ordinaria; la nanotecnología en el mundo real actual) y de una nanotecnología futurista (que produciría casi cualquier cosa manejando los átomos uno a uno). Cuando la nanotecnología se aplica a un área específica puede hablarse de nanotecnología aplicada. Las aplicaciones en ciencias de la vida podrían corresponder a una bionanotecnología y una nanobiotecnología, términos que pueden superponerse en ciertas áreas de aplicaciones complejas.

NANOTECNOLOGÍA Y ATENCIÓN A LA SALUD

24 de agosto de 1966. Un estreno espectacular: *Fantastic voyage*. La película fue dirigida por Richard Fleischer, producida por Saul David, basándose en una historia escrita por Jerome Bixby y Otto Klement, adaptada por David Duncan. El reparto incluía a Stephen Boyd, Raquel Welch, Edmond O'Brien, Donald Pleasence, entre otros. En 100 minutos y en lengua inglesa narra cómo un grupo de profesionales de la salud es miniaturizado para viajar en un submarino que se introduce en la sangre de un paciente, con la finalidad de llegar al cerebro para destruir un coágulo. La película ganó dos Premios Óscar: Dirección de Arte y Efectos Visuales (fue nominada para tres más: Cinematografía, Edición y Sonido)[101]. Bantam Books obtuvo los derechos para realizar una novela basada en la película, consiguiéndolo con Isaac Asimov[102], cuya versión apareció casi medio año antes que el estreno de la película (probablemente por el extendido periodo de filmación); erróneamente se considera que la novela inspiró la película[103]. Hace por lo menos una

---

[101] García Jordá E. Fantastic voyage. Clinical & Translational Oncology 2009;11(9):561-563.

[102] Isaac Asimov (Айзек Азимов, nacido como Isaak Yudovich Ozimov, Исаак Юдович Озимов; 2 de enero de 1920; Petrovichi, República Socialista Soviética de Bielorrusia, actualmente Oblast de Smolensk, Federación Rusa – 6 de abril de 1992; Nueva York, EEUU). Judío-ruso nacionalizado estadounidense, doctor en bioquímica por la Universidad de Columbia en 1948, profesor asociado en la Facultad de Medicina de la Universidad de Boston. Reconocido por su obra como escritor, tanto de obras de ciencia ficción como de divulgación científica. La mayoría de sus libros de divulgación explican los conceptos científicos siguiendo una línea histórica; a menudo brinda nacionalidad, fechas de nacimiento y muerte de los científicos que menciona, así como las etimologías de las palabras técnicas. Para los datos sobre *Fantastic Voyage*, véase su autobiografía Asimov I. In joy still felt: The autobiography of Isaac Asimov, 1954-1978. New York: Avon; 1980. p. 363.

[103] Seward JB. Fantastic voyage through the cardiovascular system. European

década se viene preconizando que este tipo de posibilidades terapéuticas estarían cada día más cerca[104] gracias a la nanomedicina.

Si se piensa en la nanomedicina como el uso de nanorobots dentro del cuerpo humano para sanar enfermedades, al estilo de *Fantastic Voyage*, puede tenerse la idea de que se trata de un proyecto a muy largo plazo. Pero si se piensa en la nanomedicina como sinónimo de escuchar música desde el nanoiPod para meditar (y, así, "sanar el alma"[105]), se tendría una visión totalmente actual y vigente de la nanomedicina. ¿Qué es la nanomedicina?

1. Definición de nanomedicina

La nanomedicina es una disciplina muy reciente. La primera cita en la base de datos PubMed que incluye esta palabra es de 1999[106] (es extraordinariamente raro encontrar alguna referencia previa[107]). Aunque un año antes se publicó el primer estudio detallado del diseño técnico de un nanorobot médico en una revista arbitrada e indexada[108], la bibliometría muestra que la "nanomedicina" es casi una hija del siglo xxi[109].

Journal of Echocardiography 2004;5(1):8-11.

104 Morris K. Macrodoctor, come meet the nanodoctors. Lancet 2001;357(9258):778.

105 Webster TJ. Nanomedicine: Real commercial potential or just hype? International Journal of Nanomedicine 2006;1(4):373-374.

106 Weber DO. Nanomedicine. Health Forum Journal 1999;42(4):32,36-37.

107 Glenn JC, Gordon TJ. The millennium project: 1997 state of the future - Implications for actions today. Technological Forecasting and Social Change 1997;56(3):203-296.

108 Freitas RA Jr. Exploratory design in medical nanotechnology: A mechanical artificial red cell. Artificial Cells, Blood Substitutes, and Immobilization Biotechnology 1998;26(4):411-430. (En el texto del artículo no menciona la palabra "nanomedicina")

109 Kostarelos K. Establishing nanomedicine. Nanomedicine (London)

Se ha definido la nanomedicina como la aplicación de la nanociencia en beneficio del paciente[110] y como la aplicación médica de la nanotecnología[111]. Utilizando un concepto ya explicado en páginas previas, la nanomedicina correspondería a un tipo particular de aplicaciones de la nanobiotecnología en el campo de la atención a la salud[112]. Por ello es que en adelante se enfatiza más en el tema de la nanomedicina en particular, y no en el de la nanobiotecnología en lo general.

Pueden encontrarse otras definiciones más amplias de la nanomedicina. Una de ellas dice que es «el proceso de diagnóstico, tratamiento y prevención de enfermedades y lesiones traumáticas, de aliviar el dolor, y de preservar y mejorar la salud humana, utilizando herramientas moleculares y el conocimiento molecular del cuerpo humano»[113]. El autor de esta definición plantea que «en un plazo relativamente cercano, la nanomedicina puede resolver muchos problemas médicos importantes mediante el uso de materiales estructurados a nanoescala y nanodispositivos simples que pueden ser fabricados hoy en día, incluyendo la interacción de materiales nanoestructurados con los sistemas biológi-

---

2006;1(3):259-260.

110 Hunziker P. Nanomedicine: The application of the nanosciences to the benefit of the patient. European Journal of Nanomedicine 2008;1(1):2.

111 Freitas RA Jr. Nanomedicine, Volume I: Basic capabilities. Georgetown, Texas; Landes Bioscience: 1999.

112 Medvedeva NV, Ipatova OM, Ivanov IuD, Drozhzhin AI, Archakov AI. Nanobiotechnology and nanomedicine. Biochemistry (Moscow) Supplement Series B: Biomedical Chemistry 2007;1(2):114-124. Jain KK. Applications of nanobiotechnology in clinical diagnostics. Clinical Chemistry 2007;53(11):2002-2009. Jain KK. Nanomedicine: Application of nanobiotechnology in medical practice. Medical Principles and Practice 2008;17(2):89-101. Piotrovskiĭ LB. Nanomedicine as a part of nanotechnology. Vestnik Rossiĭskoĭ Akademii Meditsinskikh Nauk / Rossiĭskaia Akademiia Meditsinskikh Nauk 2010;(3):41-46.

113 Freitas RA Jr. Current status of nanomedicine and medical nanorobotics. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience 2005;2(1):1-25.

cos. En el mediano plazo, la biotecnología permitirá aún más notables avances en la medicina molecular, incluyendo biorobots microbiológicos u organismos producto de la ingeniería. A largo plazo, tal vez 10 a 20 años a partir de hoy, los primeros sistemas moleculares producto de ingeniería y nanorobots podrán participar en el arsenal médico, dando finalmente a los médicos las herramientas imaginables más potentes para vencer la enfermedad humana, la mala salud y el envejecimiento».

El mismo autor dice que «La génesis temprana del concepto de nanomedicina surgió de la idea visionaria que pequeños nanorobots y máquinas relacionadas podrían ser diseñados, fabricados, e introducidos en el cuerpo humano para realizar reparaciones celulares a nivel molecular. La nanomedicina hoy se ha ramificado en cientos de direcciones diferentes, cada una de ellas contiene la idea clave de que la capacidad para estructurar materiales y dispositivos a escala molecular puede aportar enormes beneficios inmediatos en la investigación y la práctica de la medicina»[114]. Más adelante, al hablar de la "nanomedicina ahora", dice que «Muchos enfoques para la nanomedicina llevados a cabo actualmente ya están lo suficientemente cerca a la fruición que es justo decir que su desarrollo con éxito es casi inevitable, y su incorporación posterior en valor diagnóstico médico o la terapéutica clínica es altamente probable y puede ocurrir muy pronto».

Existen definiciones de organismos nacionales y supranacionales. Para los Institutos Nacionales de Salud (NIH, National Institutes of Health) de EEUU, su iniciativa para la nanomedicina tiene dos objetivos principales: «1) Comprender cómo se construye la maquinaria biológica dentro de las células vivas y cómo opera a escala nanométrica. 2) Utilizar esta información para rediseñar estas estructuras, el desarrollo de nuevas tecnologías que podrían aplicarse para el tratamiento de

[114] Freitas RA Jr. What is nanomedicine? Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine 2005;1(1):2-9.

enfermedades y/o aprovechar los nuevos conocimientos para centrar el trabajo directamente en estudios traslacionales para tratar una enfermedad o para la reparación del tejido dañado»[115].

Para la Fundación Europea de la Ciencia «el campo de la nanomedicina es la ciencia y la tecnología del diagnóstico, tratamiento y prevención de enfermedades y lesiones traumáticas, de aliviar el dolor, y de preservar y mejorar la salud humana, utilizando herramientas moleculares y el conocimiento molecular del cuerpo humano. Abarca cinco sub-disciplinas principales que se superponen en muchos aspectos y se basan en problemas técnicos comunes»[116]. Posteriormente agrega que «el objetivo de la nanomedicina puede ser definido de manera amplia como la vigilancia global, control, construcción, reparación, defensa y mejora de todos los sistemas biológicos humanos, trabajando desde el nivel molecular utilizando dispositivos de ingeniería y nanoestructuras, hasta alcanzar un beneficio médico. En este contexto, la nanoescala debería tomarse en cuenta para incluir componentes activos u objetos en el rango de tamaño de un nanómetro a cientos de nanómetros. Pueden ser incluidos en un micro-dispositivo (que podría tener una macro-interface) o un ambiente biológico. El enfoque, sin embargo, está siempre en el marco de nanointeracciones de un dispositivo mayor o sistema biológico a uno sub-celular (o celular)».

---

115 National Institutes of Health. Disponible en URL: https://commonfund.nih.gov/nanomedicine/index

116 European Science Foundation. Nanomedicine. An ESF – European Medical Research Councils (EMRC) Forward Look report. Strasbourg: European Science Foundation; 2005. p. 11. Las cinco sub-disciplinas corresponden a: 1) Técnicas analíticas y herramientas de diagnóstico; 2) Nanoimagen y manipulación; 3) Nanomateriales y nanodispositivos; 4) Administración de medicamentos y desarrollo farmacéutico; 5) Aplicaciones clínicas, aspectos de seguridad y regulatorios, y toxicología.

En 2005 la Comunidad Europea publica un plan de acción para el lustro siguiente, citando la nanomedicina en tres ocasiones, sin definirla[117]. Poco tiempo después, la Plataforma Europea de Tecnología elabora un documento pormenorizado sobre el tema donde sí lo hace, y dice que la nanomedicina «para el propósito de este documento, se define como la aplicación de nanotecnología a la salud. Aprovecha las mejores y, frecuentemente, novedosas propiedades físicas, químicas y biológicas de los materiales a escala nanométrica. La nanomedicina tiene un impacto potencial en la prevención, diagnóstico temprano y fiable, y tratamiento de enfermedades. A los efectos de este documento, la nanomedicina abarca tres temas interrelacionados: nanodiagnóstico incluyendo imágenes, la administración dirigida de fármacos y su liberación controlada, y la medicina regenerativa»[118]. La elección de estos temas no es meramente aleatoria, ya que se trata de las áreas que tienen mayores avances en cuanto a las aplicaciones clínicas.

Con estas definiciones quedan claros dos temas fundamentales. Primero, no hay una definición internacional uniforme[119] (como tampoco la hay para la nanotecnología, la nanobiotecnología o la bionanotecnología). Segundo, la nanomedicina no es un área de desarrollo con plena aplicación clínica, sino que se trata todavía de muchas investigaciones (que ubican su desarrollo, en tanto que disciplina o campo dis-

---

117 Comisión de las Comunidades Europeas. Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo y al Comité Económico y Social Europeo. Nanociencias y nanotecnologías: Un plan de acción para Europa 2005-2009. Bruselas: Comisión de las Comunidades Europeas; 2005.

118 European Commission. European Technology Platform on NanoMedicine – Nanotechnology for Health. Vision paper. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2005. p. 6.

119 Webster TJ. Nanomedicine: What's in a definition? International Journal of Nanomedicine 2006;1(2):115-116.

ciplinar, aún en la "infancia"[120]) con un uso clínico potencial en el futuro[121]. A pesar de que hay riesgos con la nanomedicina (como en todo uso de la tecnología, especialmente si no se pone un énfasis especial a la ética de la investigación y las consideraciones sociales) y mucha propaganda alrededor de ella, probablemente se trata del más grande conjunto de intervenciones y avances para revolucionar la atención a la salud en el siglo xxi[122].

2. Práctica clínica e investigación clínica

La palabra "clínica" proviene del griego κλινιη, *kliniké*. La práctica médica de atender a los pacientes en su lecho, en su cama, fue llamada desde el tiempo de los hipocráticos como *kliniké*. Esta palabra corresponde al femenino del adjetivo *klinikós*, que se forma a partir de κλινη, *klinē* = cama, y con el sufijo *-ikos*, (perteneciente o relativo a; se utiliza para crear adjetivos y de forma secundaria para sustantivos); es decir, *klinikós* es "de la cama". La palabra *kline* viene del verbo κλινειν, *klinein*, que significa inclinarse o acostarse. Se le asocia con la raíz indoeuropea **klei* (inclinación o subida).

120 Kostarelos K, Bianco A, Prato M. Hype around nanotubes creates unrealistic hopes. Nature 2008;453(7193):280.

121 Allhoff F. The coming era of nanomedicine. American Journal of Bioethics 2009;9(10):3-11. Malhotra P, Singh A. Nano medicine- A futuristic approach. JK Science: Journal of Medical Education and Research 2010;12(1):3-5.

122 Johnson S. Nanomedicine: Is it hype, will it harm, or will it heal? Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine 2007;3(4):354. Johnson S. The era of nanomedicine and nanoethics: Has it come, is it still coming, or will it pass us by? American Journal of Bioethics 2009;9(10):1-2.

Por siglos, más aún, por milenios, toda "actividad clínica" del médico[123] fue una "práctica clínica"; la "investigación clínica" aparece muy tarde en la historia. Diego Gracia, en tanto que historiador de la medicina, ha establecido tres periodos desde los orígenes de la llamada medicina occidental hasta el momento actual[124].

El primer periodo abarcaría desde los hipocráticos hasta el final del Siglo xix. En ese largo periodo puede distinguirse que los escritos tan antiguos como los de Celso, hasta algunos emblemáticos de la medicina decimonónica como la *Introducción al estudio de la medicina experimental* de Claude Bernard puede distinguirse una condena a la vivisección, y entiéndase por este término la "investigación". La intención del acto clínico debería ser exclusivamente para conseguir el bien del enfermo, pero no podía hacerse para aumentar el conocimiento. Sin embargo, en cada intervención clínica se realizaba en el fondo un pequeño experimento (lo que Gracia ha llamado el "experimento fortuito"), de modo que algo se aprendía, pero de forma secundaria a la búsqueda del bien del enfermo; el mejor médico era quien tenía más experiencia clínica.

---

123 Hoy se pudiera matizar por cuestiones de género, pero es que la constante histórica desde la medicina hipocrática hasta el Siglo xix fue que los varones eran quienes podían educarse (y no solamente en medicina). Tampoco se generaliza el término a "atención de la salud", ya que ese tipo de atención y otros profesionales no médicos surgen, fundamentalmente, también en el Siglo xix.

124 Gracia D. Investigación en seres humanos: Implicaciones lógicas, históricas y éticas. En: Pellegrini A, Macklin R. (Eds.) Investigación en sujetos humanos: Experiencia internacional. Santiago de Chile: Programa Regional de Bioética ops/oms; 1999. p. 63-82. Gracia D. Research on human subjects: logical, historical and ethical implications. En: Pellegrini A, Macklin R. (Eds.) Research on human subjects: International experience. Santiago de Chile: Regional Program on Bioethics ops/oms; 1999. p. 59-78. Gracia D. Investigación en sujetos humanos: implicaciones lógicas, históricas y éticas. En: Lolas Stepke F, Quezada A. (Eds.) Pautas éticas de investigación en sujetos humanos: Nuevas perspectivas. Santiago de Chile: Programa Regional de Bioética ops/oms; 2003. p. 111-128.

El segundo periodo abarcaría desde 1900 hasta 1947, prácticamente la primera mitad del Siglo xx. En ese momento, desde los experimentos de Walter Reed en la isla de Cuba hasta los Juicios de Núremberg ya no se podía depender del aprendizaje realizado en cada pequeño experimento del médico en su práctica clínica. Con el informe Flexner se intenta reglar la educación médica en los EEUU, y en buena medida ha sido el modelo seguido en el mundo llamado occidental; de esta forma, el saber del clínico ya no dependería de su experiencia, sino de la sistematización en un riguroso proceso de enseñanza-aprendizaje. Además, los médicos se fueron dando cuenta gradualmente que se podía (y se necesitaba) intervenir en el cuerpo de un ser humano con la finalidad exclusiva de incrementar el conocimiento, es decir, no solamente para causarle un beneficio por medio de la atención. Es en la primera mitad del Siglo xx cuando se gesta la idea de que la investigación clínica debe estar diseñada de forma prospectiva, y para ello se emplean las matemáticas y criterios de aleatorización. La forma de sistematizar esto fue a través de una depurada metodología llamada "ensayo clínico", término que aparece en 1948[125].

Sin embargo, esto no lo es todo. Desde 1947 y el famoso Código de Núremberg hasta el momento actual se ha agregado otro punto importante: no basta con que la investigación clínica esté científicamente diseñada, sino que debe estar regulada éticamente. Esta tendencia es clara y evidente; basta abrir cualquier revista médica para ver que la forma de entender que se realiza adecuadamente la práctica clínica es cuando se aplica lo que se ha investigado científicamente, y que además ha tenido un control ético (las publicaciones suelen solicitar que se haga explícito que la investigación contó con la revisión de un comité de bioética).

---

125 A Medical Research Council investigation. Streptomycin treatment of pulmonary tuberculosis. Br Med J 1948; 2(4582): 769-782.

Así, se puede establecer que hay una distinción clara entre la "práctica clínica" y la "investigación clínica", que podría resumirse en dos puntos clave: la intencionalidad y la validación. La "práctica clínica" tiene como intención causar el bien del enfermo, aplicando un tratamiento validado científicamente (habitualmente, mediante el ensayo clínico). La "investigación clínica", por el contrario, tiene como intención obtener mayor información sobre una determinada condición, validando un proceso diagnóstico o uno terapéutico. Con esta distinción se puede entender que la actividad clínica puede darse con prácticas en proceso de validación (investigación), prácticas validadas (práctica habitual o atención clínica), y prácticas empíricas (aquellas no validadas y que tampoco están en proceso de validación, tales como la homeopatía, acupuntura, etcétera; en general, toda medicina no occidental).

Si en el primero y el segundo período hubo un conflicto, claro y evidente hasta el Siglo xix, que fue disminuyendo en la primera mitad del siglo xx, el tercer periodo marca de algún modo una confluencia[126]. La incertidumbre es característica cuando se intenta establecer algún pronóstico, de modo que no se sabe qué ocurrirá entre estos campos de "práctica clínica" e "investigación clínica"; lo ideal sería contar con un sistema de salud público y universal, en donde todo sujeto de la atención clínica reciba los beneficios de la investigación, pero al mismo tiempo sea sujeto de investigación al protocolizar todo dato clínico. Si la "medicina basada en la evidencia" no ha corrido con la suerte que se esperaba no es porque sea mala, sino porque falta investigación. Hay muy poco tiempo en la historia de la medicina occidental haciendo investigación. Por ello, movimientos como el de la "medicina basada en la práctica" representan tanto como un retroceso decimonónico.

---

126 Gracia D. Práctica clínica e investigación clínica. Del conflicto a la convergencia. En: Dal-Ré R, Carné X, Gracia D. (Dir.) Luces y sombras en la investigación clínica. Madrid: Triacastela; 2013. p. 39-55.

Ya se ha citado el término de "ensayo clínico", que constituye la estrategia metodológica fundamental para la investigación clínica. Diseñada inicialmente en el mundo de la farmacología, se ha extendido a otro tipo de intervenciones diagnósticas y terapéuticas. Como se verá más adelante, el mundo de la nanomedicina gira en buena medida en torno a la farmacología, por lo que es importante aclarar qué es un ensayo clínico.

El desarrollo de un fármaco nuevo se inicia con una serie de investigaciones llamadas preclínicas, en tanto que no se realizan en seres humanos. Esto incluye análisis bioquímicos, biofísicos, fisicoquímicos, cuando menos, de la molécula; para ello pueden utilizarse análisis de laboratorio o *in silico*[127]. Posteriormente se investigan los efectos biológicos, para lo cual se utilizan animales no humanos *in vivo* en condiciones de laboratorio, órganos aislados, o bien con preparados y cultivos celulares *in vitro*. Esta fase preclínica lleva de 1 a 5 años.

Posteriormente viene lo que se denomina como "investigación clínica", donde se incluyen seres humanos. En el llamado "ensayo clínico" hay varias fases con diferentes objetivos[128]. Una vez que hay suficiente información preclínica sobre las dosis efectivas del fármaco, propieda-

---

127 La expresión significa "hecho por computadora" o "vía simulación computacional"; no significa nada en latín (sería "in silicium"), pero está creada en similitud a "in vivo" e "in vitro", e intenta hacer referencia al material con el cual están hechos los semiconductores que permiten el almacenamiento de información. La expresión fue usada por primera vez en público en 1989 en el taller *Autómata Celular: Teoría y Aplicaciones*, en Los Álamos, NM, EEUU. Pedro Miramontes, matemático, presentó el informe *Restricciones fisicoquímicas del DNA y el RNA, autómata celular y evolución molecular*. En la charla se utilizó el término "in silico" para caracterizar experimentos biológicos llevados a cabo completamente con equipos de cómputo. Miramontes P. Un modelo de autómata celular para la evolución de los ácidos nucleicos. Ciudad de México; UNAM: 1992. Tesis de doctorado en matemáticas.

128 Tato F. Bases metodológicas del ensayo clínico. Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela; 1998.

des farmacocinéticas (metabolismo y excreción), toxicidad (aguda, subaguda y crónica, incluyendo carcinogénesis y teratogénesis, así como embriotoxicidad y fetotoxicidad), y el comportamiento en modelos preclínicos adecuados, se puede pensar en diseñar el ensayo clínico.

En los ensayos de fase I los objetivos rondan en torno a la seguridad, farmacocinética y toxicología; se busca establecer la dosis sin efectos indeseables así como el metabolismo del fármaco. Suelen ser coordinados por farmacólogos clínicos. Participan sujetos de investigación sanos (esto es, habitualmente jóvenes sin enfermedades demostradas), en número de entre 30 a 100, evaluando su fisiología general de forma estrecha. La duración suele ser de 9 a 18 meses. Para el diseño pueden ser abiertos, simples o doble ciego.

Los ensayos de fase II constituyen los ensayos piloto para conocer la eficacia y la seguridad del nuevo fármaco; participan sujetos de investigación con criterios de inclusión y exclusión muy estrictos (solamente la enfermedad a tratar en el estudio, sin comorbilidades, homogeneidad en factores biológicos como edad y sexo, y a ser posible también psicosociales). Por esta razón son coordinados por investigadores clínicos, habitualmente médicos en práctica que realizan investigación. En esta fase se seleccionan los fármacos potencialmente activos, y se desechan los menos activos, los más tóxicos, etcétera. Se encuentra la eficacia para la indicación propuesta, búsqueda de la dosis en el escenario de la enfermedad, así como el mecanismo de acción, seguridad y farmacocinética a dosis múltiples. Suelen incluirse de 100 a 400 sujetos de investigación, y su duración extenderse de uno a tres años. Para el diseño suelen ser aleatorizados, doble ciego, y controlados con placebo.

Los ensayos de fase III se inician cuando hay datos de que efectivamente la molécula en estudio es razonablemente efectiva, pero para saber si así lo será en el escenario de la práctica clínica los criterios de inclusión y exclusión deben ser menos severos, y la población en estudio mayor. Se confirma la eficacia para la indicación, dosis y pautas de

tratamiento, la seguridad a largo plazo, interacciones medicamentosas, farmacocinética clínica y biodisponibilidad, así como la formulación definitiva. Siguen siendo coordinados por investigadores clínicos. Suelen corresponder a los grandes estudios multicéntricos, incluyendo de 1000 a 3000 sujetos de investigación, llevando de 2 a 4 años la fase IIIa y de 1 a 3 años la fase IIIb. Suelen ser diseñados aleatorizados, doble ciego, con criterios de inclusión y exclusión menos estrictos, controlados con placebo o comparándose contra el fármaco de referencia, y con criterios de inclusión y exclusión menos estrictos (en el paciente real, la comorbilidad y la polifarmacia son prácticamente la norma). En términos estrictos, la "investigación clínica" termina aquí.

Sin embargo, existen los llamados ensayos de fase IV, y se suele referir a aquéllos que se realizan posteriormente al registro y comercialización del producto en estudio. Así las cosas, más que investigación se trata de un periodo de "farmacovigilancia", que es continuo. Ya no hay un investigador responsable, toda vez que cualquier clínico puede (y debe) informar a la autoridad sanitaria competente si observa la aparición de un evento adverso atribuible al fármaco. Ya no se habla propiamente de un ensayo clínico, puesto que no hay grupo control al tratarse de estudios de tipo epidemiológico, fundamentalmente cohortes. Sin embargo, al comercializar un fármaco, siempre resta valorar los tratamientos prolongados, los efectos indeseables más raros, nuevas formulaciones, nuevas vías de administración e incluso, nuevas indicaciones; es el periodo en el cual los fármacos toleran la "prueba del tiempo", al administrarse en las condiciones reales de la "práctica clínica", sin las restricciones que imponen los diseños de la "investigación clínica". En estos momentos ya se alcanzan más de 5000 seres humanos expuestos al fármaco. Finalmente, es en este largo periodo que se establecen los criterios coste-efectivos para los sistemas de salud.

Si todo esto es reciente en la historia, al distinguir "práctica clí-

nica" e "investigación clínica" en nanomedicina, claramente hay muy poca "práctica", superándole por mucho la "investigación", que ni siquiera clínica, ya que muchos de los temas cruciales transitan por la investigación básica o preclínica.

3. Educación y prevención

La actividad médica debería incluir actividades de promoción de la salud: educación y prevención. Respecto a la educación del futuro personal sanitario puede decirse que es difícil la inclusión de la nanomedicina en las universidades: el equipo necesario es muy caro, y solamente las grandes compañías y organizaciones que tienen financiación para programas de investigación cuentan con las tecnologías necesarias[129] (aunque existen alternativas con programas de cómputo y simuladores[130]; además, las iniciativas de educación surgen fundamentalmente en el postgrado[131]).

Con el desarrollo cada vez mayor de la nanomedicina, parece urgente que debería prepararse a los profesionales de la salud sobre los riesgos y los beneficios potenciales[132]. Sin embargo, la educación sobre

---

129 Guggisberg M, Fornaro P, Gyalog T, Burkhart H. An interdisciplinary virtual laboratory on nanoscience. Future Generation Computer Systems 2003;19(1):133-141.

130 La Universidad de Virginia (EEUU) ha diseñado varios materiales educativos; Nanoscience Instruments. Nanoscience Education. Disponible en URL: http://www.nanoscience.com/education

131 Una revisión sobre programas de grado y postgrado en nanociencias en Goodhew P. Education moves to a new scale. Nano Today 2006;1(2):40-43. Véase Red Española de Nanotecnología / Spanish Nanotechnology Network, disponible en URL: http://www.nanospain.org/nanospain.htm

132 Sealy C. Education, education, education. Nano Today 2006;1(2):1.

estos temas no es considerada todavía, ni en medicina[133] ni en enfermería[134]; la inclusión de la educación sobre nanomedicina, en general, sigue siendo una tarea pendiente[135].

Parece urgente que debería prepararse a los profesionales de la salud (y de áreas relacionadas) no solamente sobre los grandes beneficios potenciales, sino también sobre los riesgos[136]. Como en otras áreas del conocimiento, se apunta a que debería estimularse el interés por el campo nanocientífico desde la infancia[137]. Esto lleva a analizar otros problemas, técnicos, administrativos y desde luego éticos (como por ejemplo, el papel de la institución universitaria para promover el desarrollo nanocientífico y nanotecnológico[138]). Una investigación empírica llevada a cabo en Turquía mostró que los profesores del área de ciencias y los candidatos para ser profesor cuentan con un conocimiento "moderado" sobre la nanotecnología; además, cuando tienen actitudes positivas respecto de la nanotecnología, tienen serias preocupaciones a la vez. La investigación propone desarrollar, a través de la educación, más conocimiento y mejores actitudes respecto

133 Cooke M, Irby DM, O'Brien BC. Educating physicians: A call for reform of medical school and residency. San Francisco: Jossey-Bass; 2010.

134 Meetoo D. Nanotechnology: The revolution of the big future with tiny medicine. British Journal of Nursing 2009;18(19):1201-1206.

135 Moore R. Nanomedicine: Rethinking medical training. Medical Device Technology 2008;19(1):50,52-53.

136 Sealy C. Op. Cit.

137 Chang RPH. A call for nanoscience education. Nano Today 2006;1(2):6-7. Para integración en niveles intermedios entre el básico y el superior (grado y postgrado), véase Greenberg A. Integrating nanoscience into the classroom: Perspectives on nanoscience education projects. ACS Nano 2009;3(4):762-769.

138 Iyuke PO, Cross M, Iyuke SE, Potgieter HJ. The role of a university in education and training in the field of nanotechnology: The case of the University of the Witwatersrand. Education for Chemical Engineers 2007;2(1):56-67.

de la nanotecnología[139]. También sería importante la educación del público en general en este tipo de tecnologías[140].

4. Diagnóstico y pronóstico

Como ya se mencionó, la Plataforma Europea de Tecnología considera tres grandes temas: el nanodiagnóstico (incluyendo imágenes), la administración dirigida de fármacos (y su liberación controlada), y la medicina regenerativa (una forma de tratamiento). Hay que revisar de forma sucinta lo que ocurre en el campo del nanodiagnóstico, que supondría un verdadero giro en la asistencia médica una vez que se desarrolle plenamente la nanomedicina[141].

La Plataforma Europea considera que las aplicaciones nanotecnológicas en el diagnóstico médico pueden agruparse en dos áreas: aplicaciones in vitro (biosensores, dispositivos integrados), y aplicaciones in vivo (dispositivos implantables, imágenes médicas).

---

139 Ekli E, Sahin N. Science teachers and teacher candidates' basic knowledge, opinions and risk perceptions about nanotechnology. Procedia - Social and Behavioral Sciences 2010;2(2):2667-2670.

140 Jain KK. Research and education in nanomedicine. Jain KK. The handbook of nanomedicine. New Jersey: Humana Press; 2008. p. 363-368.

141 Afirman que «Además del efecto sobre las cuestiones éticas, la nanomedicina también tendrá un gran impacto en las cuestiones sociales, tales como: [...] Impacto en los sistemas de salud con un cambio de la espera para las actuales terapias agudas en los hospitales centrales a un futuro diagnóstico más temprano realizado por médicos generales». European Commission - European Technology Platform on NanoMedicine. Nanotechnology for Health – Strategic Research Agenda. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2006. p. 24.

Un biosensor es un sensor[142] para la medición de parámetros biológicos o químicos; suele combinar un componente de naturaleza biológica y otro físico-químico. Se compone de tres partes: 1) el sensor biológico (tejido, cultivo de microorganismos, enzimas, anticuerpos, cadenas de ácidos nucleicos, etcétera; puede tomarse de un sistema biológico o ser un producto de la biología sintética); 2) el transductor (acopla los otros dos elementos y transduce la señal emitida por el sensor); y 3) el detector (puede ser óptico, piezoeléctrico, térmico, magnético, etcétera). El ejemplo más común de biosensor es el que mide la glucemia en sangre total (utiliza un enzima que procesa moléculas de glucosa, liberando un electrón por cada molécula procesada; dicho electrón es recogido en un electrodo y el flujo de electrones es utilizado como una medida de la concentración de glucosa). Es clave que el biosensor tenga una especificidad y una sensibilidad alta. Con las herramientas nanoanalíticas pueden ofrecerse nuevas oportunidades de diagnóstico[143] en patologías moleculares (mediante análisis de los "-omas": genoma[144], transcriptoma[145],

142 Para el DRAE se trata de un "Dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etcétera, y la transmite adecuadamente". Hace referencia a un dispositivo capaz de medir magnitudes físicas o químicas (llamadas variables de instrumentación) y transformarlas en variables eléctricas.

143 Sahoo SK, Parveen S, Panda JJ. The present and future of nanotechnology in human health care. Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine 2007;3(1):20-31.

144 Totalidad de la información genética de un organismo; en eucariotas suele referirse solamente al genoma nuclear (a pesar de que también existe un genoma mitocondrial). Término acuñado en 1920 por Hans Winkler (23 de abril de 1877 – 22 de noviembre de 1945; profesor de botánica en la Universidad de Hamburgo, Alemania), como un acrónimo (gene y cromosoma) para designar el conjunto de genes en los cromosomas haploides. Winkler H. Verbreitung und Ursache der Parthenogenesis im Pflanzen-und Tierreiche. Jena: Verlag Fischer; 1920. p. 165.

145 Totalidad del DNA trascrito, es decir, el mRNA. Varía dependiendo del tipo de célula, condiciones ambientales, estados patológicos, etcétera. Todas las células de un

proteoma[146], metaboloma[147], etcétera[148])[149], infecciones[150], etcétera. Esto supondría una verdadera revolución en el diagnóstico de laboratorio[151].

Las aplicaciones in vivo incluyen dispositivos implantables[152], aunque actualmente existen más aplicaciones en técnicas de diagnóstico por imagen, que engloban: imágenes ópticas avanzadas por espectroscopia, imágenes nucleares con marcadores radioactivos, imagen por resonancia magnética, ultrasonido, rayos X, etcétera. Obtener imáge-

---

organismo tienen el mismo genoma, pero diferentes transcriptomas.

146 Totalidad de proteínas expresadas en una célula particular bajo condiciones específicas: medioambiente, fase del ciclo celular, exposición a estimulación hormonal (u otras moléculas señalizadoras), etcétera. La palabra (proteína y genoma) es acuñada por Marc R. Wilkins en 1994. Wasinger VC, Cordwell SJ, Cerpa-Poljak A, Yan JX, Gooley AA, Wilkins MR, Duncan MW, Harris R, Williams KL, Humphery-Smith I. Progress with gene-product mapping of the Mollicutes: Mycoplasma genitalium. Electrophoresis 1995;16(7):1090-1094.

147 Conjunto de moléculas, intermediarios metabólicos, metabolitos, hormonas (y otras moléculas señalizadoras), y los metabolitos secundarios; dinámico, cambia con el tiempo y dependiendo de las características del entorno. Término propuesto en 1998, por analogía con los términos genómica, transcriptómica, etcétera. Oliver SG, Winson MK, Kell DB, Baganz F. Systematic functional analysis of the yeast genome. Trends in Biotechnology 1998;16(9):373-378.

148 Por extensión se habla también del glicoma, el epigenoma, etcétera. Lederberg J, McCray AT. 'Ome sweet 'omics - A genealogical treasury of words. Scientist 2001;15(7):8.

149 Jain KK. Nanodiagnostics: Application of nanotechnology in molecular diagnostics. Expert Review of Molecular Diagnosis 2003;3(2):153-161.

150 Tallury P, Malhotra A, Byrne LM, Santra S. Nanobioimaging and sensing of infectious diseases. Advanced Drug Delivery Reviews 2010;62(4-5):424-437.

151 Azzazy HM, Mansour MM, Kazmierczak SC. Nanodiagnostics: A new frontier for clinical laboratory medicine. Clinical Chemistry 2006;52(7):1238-1246.

152 Vaddiraju S, Tomazos I, Burgess DJ, Jain FC, Papadimitrakopoulos F. Emerging synergy between nanotechnology and implantable biosensors: A review. Biosensors & Bioelectronics 2010;25(7):1553-1565.

nes precisas es fundamental para un diagnóstico adecuado[153], además de ser necesarias para la administración dirigida de fármacos[154].

Teniendo la posibilidad de diagnósticos tan precisos como los que podrían obtenerse a escala nanométrica, el pronóstico del paciente será más certero. Sin embargo, hay que recordar que el diseño del ensayo clínico, si bien nació en el mundo farmacológico, se extendió hacia otras posibilidades terapéuticas (cirugía, terapias, etcétera) y al campo del diagnóstico. Todas estas consideraciones supondrían, en principio, el diseño de ensayos clínicos adecuados para establecer el mejor método diagnóstico: eficaz (la eficacia se refiere al logro de los objetivos en condiciones óptimas o ideales, esencialmente en las fases I a III), efectivo (la efectividad se refiere a la capacidad de mostrar la eficacia en condiciones reales, esencialmente lo que corresponde a la fase IV), y eficiente (la eficiencia se refiere a conseguir el mayor beneficio con el mínimo coste, para lo cual existen otro tipo de análisis: minimización de costes, coste-efectividad, coste-eficacia, coste-beneficio, coste-utilidad, etcétera).

5. Tratamiento y rehabilitación

La Plataforma Europea de Tecnología considera dos grandes temas en cuestiones de tratamiento: la administración dirigida de fármacos[155] y la medicina regenerativa. Las posibilidades novedosas de

153 Foran P, Bolster F, Crosbie I, MacMahon P, O'Kennedy R, Eustace SJ. Targeted contrast agents - An adjunct to whole-body imaging: Current concepts. Seminars in Musculoskeletal Radiology 2010;14(1):86-94.

154 Babincova M, Babinec P. Magnetic drug delivery and targeting: Principles and applications. Biomedical Papers of the Medical Faculty of the University Palacký, Olomouc, Czechoslovakia 2009;153(4):243-250.

155 La nanotecnología también puede emplearse en el campo farmacológico para

este tipo de terapéuticas incluyen nanopartículas inorgánicas[156], así como orgánicas[157].

5.1. Administración dirigida de fármacos

La administración dirigida de fármacos supone también toda una revolución farmacológica[158] (tanto farmacocinética como farmacodinámica)[159]; combina ciencias de polímeros, farmacia, química de bioconjugados y biología molecular. Su objetivo es mejorar el control del fármaco, así como disminuir la toxicidad, inmunogenicidad y bio-reconocimiento de los fármacos. Las investigaciones se centran en minimizar la degradación y pérdida del fármaco, la prevención de efectos secundarios, y el incremento de la disponibilidad del fármaco

el descubrimiento de fármacos nuevos. Jain KK. Nanopharmaceuticals. Jain KK. The handbook of nanomedicine. Op. Cit. p. 119-160.

156 Sekhon BS, Kamboj SR. Inorganic nanomedicine – Part 1. Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine 2010;6(4):516-522. Sekhon BS, Kamboj SR. Inorganic nanomedicine – Part 2. Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine 2010;6(5):612-618.

157 Cheung W, Pontoriero F, Taratula O, Chen AM, He H. DNA and carbon nanotubes as medicine. Advanced Drug Delivery Reviews 2010;62(6):633-649.

158 Vila Jato JL. Nanotecnología farmacéutica: Una galénica emergente. Madrid: Real Academia Nacional de Farmacia; 2006. Vila Jato JL. Nuevos aspectos biofarmacéuticos en nanotecnología farmacéutica. Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia 2007;73(4):813-832.

159 "Farmacocinética" es el estudio de los procesos a los que un fármaco es sometido a través de su paso por el organismo (liberación del principio activo, absorción del mismo, distribución por el organismo, metabolismo o inactivación, y eliminación del fármaco o sus metabolitos). "Farmacodinámica" corresponde al estudio de lo que le sucede al organismo por la acción de un fármaco (los efectos bioquímicos y fisiológicos, sus mecanismos de acción y la relación entre la concentración del fármaco, así como el efecto de éste sobre un organismo).

en el sitio de la enfermedad. Para ello se estudian transportadores de fármacos, los mecanismos de liberación del mismo en el objetivo, la liberación controlada del fármaco, así como el cruce de barreras específicas y el estudio de otras vías diferentes a la enteral tradicional.

Los transportadores de los fármacos necesitan tener características tales como propiedades óptimas para el embalaje y la liberación de los fármacos, una vida larga mientras contienen el fármaco embalado, y una baja toxicidad, entre otras[160]. Incluyen micro[161] y nanopartículas[162], lipoproteínas[163], liposomas[164], micelas[165], dendrí-

[160] Heurtault B, Schuber F, Frisch B. Pharmaceutical applications of nanoparticle carriers. En: Boisseau P, Houdy P, Lahmani M. Op. Cit. p. 1097-1119.

[161] Jătariu A, Peptu C, Popa M, Indrei A. Micro- and nanoparticles - medical applications. Revista medico-chirurgicală a Societăţii de Medici şi Naturalişti din Iaşi 2009;113(4):1160-1169.

[162] Wang M, Thanou M. Targeting nanoparticles to cancer. Pharmacological Research 2010;62(2):90-99.

[163] Nikanjam M, Blakely EA, Bjornstad KA, Shu X, Budinger TF, Forte TM. Synthetic nano-low density lipoprotein as targeted drug delivery vehicle for glioblastoma multiforme. International Journal of Pharmaceutics 2007;328(1):86-94.

[164] Un liposoma es una vesícula con una membrana lipídica bicapa, compuesta por fosfolípidos y colesterol. Federman N, Denny CT. Targeting liposomes toward novel pediatric anticancer therapeutics. Pediatric Research 2010;67(5):514-519.

[165] Una micela es el conglomerado de moléculas que constituye una de las fases de los coloides (sistema físico-químico formado por dos o más fases, al menos: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas, generalmente sólidas). Trivedi R, Kompella UB. Nanomicellar formulations for sustained drug delivery: Strategies and underlying principles. Nanomedicine (London) 2010;5(3):485-505.

meros[166], cristales líquidos[167], hidrogeles[168], polímeros de impresión molecular[169], conjugación de moléculas biológicas y polímeros sintéticos[170], bacteriófagos[171], combinaciones entre ellos, etcétera.

Otros aspectos importantes en la investigación acerca de la administración dirigida de fármacos son: los mecanismos de liberación del fármaco en el objetivo (que pueden ser pasivos[172] o activos[173]); la liberación controlada del fármaco (que puede ser sostenida[174] o con-

---

166 Los dendrímeros son moléculas tridimensionales de construcción arborescente. Gupta U, Agashe HB, Asthana A, Jain NK. A review of in vitro–in vivo investigations on dendrimers: The novel nanoscopic drug carriers. Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine 2006;2(2):66-73.

167 El cristal líquido es un tipo especial de estado de agregación de la materia que tiene propiedades entre las de un líquido convencional y las de un cristal sólido. Saulnier P, Anton N, Heurtault B, Benoit JP. Liquid crystals and emulsions in the formulation of drug carriers. Comptes Rendus Chimie 2008;11(3);221-228.

168 También llamados acuageles; red de cadenas de polímeros insolubles en agua, a veces se encuentran en forma de gel coloidal en donde el agua es el medio de dispersión. Hamidi M, Azadi A, Rafiei P. Hydrogel nanoparticles in drug delivery. Advanced Drug Delivery Reviews 2008;60(15):1638-1649.

169 Sellergren B, Allender CJ. Molecularly imprinted polymers: A bridge to advanced drug delivery. Advanced Drug Delivery Reviews 2005;57(12):1733-1741.

170 Jensen KD, Nori A, Tijerina M, Kopečková P, Kopeček J. Cytoplasmic delivery and nuclear targeting of synthetic macromolecules. Journal of Controlled Release 2003;87(1-3):89-105.

171 Deresinski S. Bacteriophage therapy: Exploiting smaller fleas. Clinical Infectious Diseases 2009;48(8):1096-1101.

172 Hashida M, Takakura Y. Pharmacokinetics in design of polymeric drug delivery systems. Journal of Controlled Release 1994;31(2):163-171.

173 Arias JL, Gallardo V, Ruiz MA, Delgado AV. Magnetite/poly(alkylcyanoacrylate) (core/shell) nanoparticles as 5-Fluorouracil delivery systems for active targeting. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics 2008;69(1):54-63.

174 Tada D, Tanabe T, Tachibana A, Yamauchi K. Albumin-crosslinked alginate hydrogels as sustained drug release carrier. Materials Science and Engineering: C

tinua, y pulsátil[175] o discontinua); el cruce de barreras específicas (hemato-encefálica[176], placentaria[177]), etcétera.

Representa un avance extraordinario la colocación de implantes in situ[178], la cual ha crecido exponencialmente y se ha perfeccionado hasta conseguir los sistemas microelectromecánicos (MEMS[179], Micro Electro Mechanical Systems), que tienen las siguientes ventajas: pueden almacenarse múltiples fármacos en diferentes formas físicas (sólida, líquida, gel); la liberación química se inicia por la desintegración de una barrera membranal por aplicación de un potencial eléctrico; varios fármacos pueden liberarse potencialmente de forma precisa y segura; pueden conseguirse patrones complejos de liberación (por ejemplo, liberación simultánea sostenida y pulsátil); es posible la liberación local de fármacos, consiguiendo concentraciones locales altas cuando se requiera, manteniendo a la vez una concentración sistémica baja; la penetración del agua hacia los reservorios se evita mediante una membrana de barrera y así la estabilidad de los fármacos con vida útil limitada es mayor; etcétera.

2007;27(4):870-874.

175 Kikuchi A, Okano T. Pulsatile drug release control using hydrogels. Advanced Drug Delivery Reviews 2002;54(1):53-77.

176 Bhaskar S, Tian F, Stoeger T, Kreyling W, de la Fuente JM, Grazú V, Borm P, Estrada G, Ntziachristos V, Razansky D. Multifunctional nanocarriers for diagnostics, drug delivery and targeted treatment across blood-brain barrier: Perspectives on tracking and neuroimaging. Particle and Fibre Toxicology 2010 Mar 3;7:3. doi: 10.1186/1743-8977-7-3.

177 Vähäkangas K, Myllynen P. Drug transporters in the human blood-placental barrier. British Journal of Pharmacology 2009;158(3):665-678.

178 Guse C, Koennings S, Blunk T, Siepmann J, Goepferich A. Programmable implants - From pulsatile to controlled release. International Journal of Pharmaceutics 2006;314(2):161-169.

179 Li Y, Shawgo RS, Tyler B, Henderson PT, Vogel JS, Rosenberg A, Storm PB, Langer R, Brem H, Cima MJ. In vivo release from a drug delivery MEMS device. Journal of Controlled Release 2004;100(2):211-219.

Otro tópico fundamental es el estudio de vías de administración diferentes a la enteral (aunque también se sigue probando[180]), ya que puede degradarse por digestión el fármaco, su transportador o ambos. Algunas pueden ser la perioral[181], parenteral[182], pulmonar[183], transdérmica[184], genética[185], etcétera.

5.2. Medicina regenerativa

Hacia las décadas de los años sesenta y setenta del pasado siglo se inicia con la primera generación de materiales para ser utilizados en el interior del cuerpo humano; en ese momento se buscaba que fuesen biológicamente inertes. Hacia la década de los años ochenta se cambió la estrategia hacia la búsqueda de la segunda generación de biomateriales, procurando entonces que fuesen reabsorbibles o bioactivos. La tendencia actual es que se combinen estas propiedades y se generen materiales que puedan inducir una modalidad de curación semejante a

---

180 Phua K, Leong KW. Microscale oral delivery devices incorporating nanoparticles. Nanomedicine (London) 2010;5(2):161-163.

181 Ge W, Hu PZ, Huang Y, Wang XM, Zhang XM, Sun YJ, Li ZS, Si SY, Sui YF. The antitumor immune responses induced by nanoemulsion-encapsulated MAGE1-HSP70/SEA complex protein vaccine following different administration routes. Oncology Reports 2009;22(4):915-920.

182 Wissing SA, Kayser O, Müller RH. Solid lipid nanoparticles for parenteral drug delivery. Advanced Drug Delivery Reviews 2004;56(9):1257-1272.

183 Mansour HM, Rhee YS, Wu X. Nanomedicine in pulmonary delivery. International Journal of Nanomedicine 2009;4:299-319.

184 Cevc G, Vierl U. Nanotechnology and the transdermal route: A state of the art review and critical appraisal. Journal of Controlled Release 2010;141(3):277-299.

185 Labhasetwar V. Nanotechnology for drug and gene therapy: The importance of understanding molecular mechanisms of delivery. Current Opinion in Biotechnology 2005;16(6):674-680.

la regeneración (minimizando respuestas inmunes e inhibiendo infecciones); en otras palabras, que ayuden al cuerpo a sanar. Con grandes avances, no son una realidad clínica generalizada todavía[186].

Los desarrollos en ingeniería tisular combinan el uso de células y sus biomoléculas en constructos artificiales que compensan funciones corporales que se han deteriorado o perdido como efecto de enfermedad o accidentes. El alto costo en su desarrollo ha limitado sus aplicaciones clínicas. Esto representa todo un reto y a la vez una esperanza para las enfermedades degenerativas, que sin duda cobran mayor importancia epidemiológica y de salud pública con el envejecimiento de la población. También son promisorias en rehabilitación.

Las tendencias actuales apuntan hacia una estrategia biomimética: intentar imitar lo que ocurre en el proceso biológico. Los tres elementos básicos de esta estrategia son: biomateriales[187] e implantes inteligentes, moléculas de señalización bioactivas, y terapias basadas en células.

El desarrollo de biomateriales e implantes "inteligentes" busca que estos materiales sean diseñados para reaccionar a cambios en el entorno inmediato para estimular respuestas celulares específicas a nivel molecular[188]. Otra línea de investigación es mejorar materiales no-absorbibles para manipular sus interacciones con los elementos bioló-

---

186 Khang D, Carpenter J, Chun YW, Pareta R, Webster TJ. Nanotechnology for regenerative medicine. Biomedical Microdevices 2010;12(4):575-587.

187 Carmona-Ribeiro AM. Biomimetic nanoparticles: Preparation, characterization and biomedical applications. International Journal of Nanomedicine 2010;5:249-259.

188 Schenke-Layland K, Rofail F, Heydarkhan S, Gluck JM, Ingle NP, Angelis E, Choi CH, MacLellan WR, Beygui RE, Shemin RJ, Heydarkhan-Hagvall S. The use of three-dimensional nanostructures to instruct cells to produce extracellular matrix for regenerative medicine strategies. Biomaterials 2009;20(27):4665-4675.

gicos a nivel nanométrico, para mejorar la función y duración de implantes o de órganos[189].

Las moléculas de señalización bioactivas se refieren a aquellas que están presentes en las células (citoquinas, factores de crecimiento, segundos mensajeros, etcétera). Los biomateriales liberarían este tipo de moléculas a velocidad controlada para activar células del entorno, las cuales, a su vez, producirían otras biomoléculas necesarias para el tejido[190].

Las terapias basadas en células tienen como fundamento el hecho de que, en los mamíferos (como el ser humano), el proceso de diferenciación celular se inicia con el desarrollo embrionario y continúa hasta la edad adulta como parte del proceso de reparación posterior a un daño. El crecimiento y la división celular es rápido en algunos tejidos (epitelios), lento en otros (cartílago y hueso), y está presente de forma limitada en lugares donde se le consideraba inexistente (tejido cardiaco y nervioso). La apuesta de la medicina regenerativa es aprovechar el potencial de las células troncales adultas (CTA), y la nanotecnología puede ayudar en dos objetivos principales: identificar los sistemas de señalización que influyen en la posibilidad de auto-curación de las CTA, y desarrollar sistemas que sean el blanco para terapias de CTA[191]. El objetivo ideal sería conseguir un implante con biomateriales inteligentes que estimularan las CTA, y en el futuro, nanomateriales que combinen ingeniería tisular con liberación de fármacos, y creación de

189 Petrie TA, Raynor JE, Reyes CD, Burns KL, Collard DM, García AJ. The effect of integrin-specific bioactive coatings on tissue healing and implant osseointegration. Biomaterials 2008;29(19):2849-2857.

190 Chen FM, Zhang M, Wu ZF. Toward delivery of multiple growth factors in tissue engineering. Biomaterials 2010;31(24):6279-6308.

191 Murtuza B, Nichol JW, Khademhosseini A. Micro- and nanoscale control of the cardiac stem cell niche for tissue fabrication. Tissue Engineering. Part B, Reviews 2009;15(4):443-454.

dispositivos que ayuden o reemplacen la función de un órgano[192] (por ejemplo el riñón[193]).

Nuevamente hay que insistir en que, tanto en el campo de la administración dirigida de fármacos y la medicina regenerativa, habría que desarrollar una investigación preclínica rigurosa antes de llegar al ensayo clínico.

5.3. Teranóstico y medicina personalizada

La Plataforma Europea de Tecnología también dice que «El diagnóstico, la entrega selectiva y la medicina regenerativa constituyen las disciplinas centrales de la nanomedicina. La Plataforma Europea de Tecnología en Nanomedicina reconoce y desea apoyar activamente la investigación en la interfase entre estas tres áreas de la ciencia. Está comprometida a apoyar actividades como el teranóstico, donde la nanotecnología permitirá a los dispositivos diagnósticos y terapéuticos ser combinados para un beneficio real de los pacientes»[194].

En los albores del presente milenio surge el concepto de "teranóstico"[195] o "teragnóstico"[196], que sería la posibilidad de combinar y hacer a la vez terapia y diagnóstico (de aquí el neologismo[197]). Con la nanotecnología

---

192 Jain KK. Regenerative medicine and tissue engineering. Jain KK. The handbook of nanomedicine. Op. Cit. p. 303-309.

193 Nissenson AR. Bottom-up nanotechnology: The human nephron filter. Seminars in Dialysis 2009;22(6):661-664.

194 European Commission - European Technology Platform on NanoMedicine. Nanotechnology for Health – Strategic Research Agenda. Op. Cit. p. 9.

195 Thera what? Pharmaceutical Executive 2000;20(1):116-117. New directions in diagnostics. Medical Device Technology 2000;11(8):33.

196 Wouters BG, van den Beucken T, Magagnin MG, Lambin P, Koumenis C. Targeting hypoxia tolerance in cancer. Drug Resistance Updates 2004;7(1):25-40.

197 Del inglés "theranostics" o "theragnosis" (therapy y diagnosis). Warner S. Diag-

podría hablarse entonces de nanoteranóstico[198] (o nanoteragnóstico[199]); si se reúne esto con los espectaculares avances en biomedicina y el enfoque de la biología sistémica, puede entenderse el surgimiento de una nueva meta por alcanzar: la medicina personalizada[200] (incluso, se está consolidando, casi como un mantra, el hablar de "medicina predictiva, preventiva y personalizada"[201]). Este término, como tantos otros, resulta profundamente polisémico; en el fondo, la medicina siempre ha sido personalizada, pero este término se reservaba más a la relación clínica[202], no al conocimiento molecular, hasta la escala nanométrica, que ofrecería la posibilidad de hacer un diagnóstico y un tratamiento individualizado[203]. Esta nueva concepción

---

nostics + Therapy = Theranostics. Strategy requires teamwork, partnering, and tricky regulatory maneuvering. Scientist 2004;18(16):38. Se ha optado por la traducción propuesta, aunque también se le ha citado en femenino como "teranóstica" (Ortega Ortiz de Apodaca F. Biosensores y biochips: Herramientas para el diagnóstico y la terapéutica. Madrid: Real Academia Nacional de Farmacia; 2006).

198 Montenegro M, Nahar SN, Pradhan AK, Huang K, Yu Y. Monte Carlo simulations and atomic calculations for Auger processes in biomedical nanotheranostics. Journal of Physical Chemistry A. 2009;113(45):12364-12369.

199 Shim MS, Kim CS, Ahn YC, Chen Z, Kwon YJ. Combined multimodal optical imaging and targeted gene silencing using stimuli-transforming nanotheragnostics. Journal of the American Chemical Society 2010;132(24):8316-8324.

200 Jain KK. Role of nanobiotechnology in the development of personalized medicine. Nanomedicine (London) 2009;4(3):249-252. Hamburg MA, Collins FS. The path to personalized medicine. New England Journal of Medicine 2010;363(4):301-304.

201 Weston AD, Hood L. Systems biology, proteomics, and the future of health care: Toward predictive, preventative, and personalized medicine. Journal of Proteome Research 2004;3(2):179-196.

202 Gibson WM. Can personalized medicine survive? Canadian Family Physician 1971;17(8):29-88.

203 Esto es, para algunos, una utopía, llegando a afirmar que la "medicina personalizada" es más una herramienta de mercadotecnia, que una predicción del futuro. Laksman Z, Detsky AS. Personalized medicine: Understanding probabilities and

de medicina personalizada parece ser al menos un futuro muy probable dentro de los varios futuros posibles de la medicina.

5.4. Nanomedicina en las especialidades médicas

El enorme potencial que tiene la nanomedicina ha generado que las consideraciones anteriores puedan centrarse en objetivos principales de diferentes especialidades médicas. Si bien algunas aplicaciones no son potestad de una especialidad concreta (como las terapias biológicas[204]), otras podrían circunscribirse a algún campo en específico.

En oncología lo ideal es la prevención del cáncer (cuando esto es posible), junto a un diagnóstico temprano, lo que brindaría al paciente un tratamiento oportuno. La nanooncología incluiría aplicaciones diagnósticas y terapéuticas; por ejemplo, dos de los primeros productos disponibles para tratamiento nanooncológico han sido preparaciones de doxorrubicina en liposomas, y el paclitaxel en formulación de nanopartículas[205]. Probablemente una de las áreas de mayor desarrollo en cuestiones diagnósticas, terapéuticas[206], y teranósticas[207], sea la oncología.

---

managing expectations. Journal of General Internal Medicine 2011;26(2):204-206.

[204] Jain KK. Role of nanotechnology in biological therapies. Jain KK. The handbook of nanomedicine. Op. Cit. p. 161-181. Incluyen las aplicaciones de la biología molecular en terapéutica, como las terapias génica, antisentido, de iRNA (RNA de interferencia); vacunas, etcétera. Weinstein S, Peer D. RNAi nanomedicines: challenges and opportunities within the immune system. Nanotechnology 2010;21(23):232001. doi:10.1088/0957-4484/21/23/232001

[205] Jain KK. Nano-oncology. Jain KK. The handbook of nanomedicine. Op. Cit. p. 195-244. Jain KK. Recent advances in nanooncology. Technology in Cancer Research & Treatment 2008;7(1):1-13.

[206] Jiménez Torres V. Bases posológicas en oncología. Madrid: Real Academia Nacional de Farmacia; 2007.

[207] Grande AH. Nanotecnología y nanopartículas magnética: La física actual en

Aunque la última década del Siglo xx fue nombrada y conocida como la "década del cerebro", aún existen deficiencias en la comprensión de los mecanismos fisiopatológicos de la enfermedad neurológica y los lindes con respecto a la enfermedad psiquiátrica. La nanomedicina ayudaría tanto en la comprensión de estos aspectos, como en aquellos diagnósticos[208] y terapéuticos[209], mediante dispositivos nanotecnológicos menos invasivos[210], para desarrollar una nanoneurología y una nanoneurocirugía.

En el campo de la nanocardiología también pueden existir aplicaciones diagnósticas[211] y terapéuticas[212]. Asimismo, en la nanoneumología pueden introducirse nuevas formas de tratamiento[213].

---

lucha contra de la enfermedad. Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (España) 2007:101(2):321-327.

208 Jain KK. Nanoneurology. Jain KK. The handbook of nanomedicine. Op. Cit. p. 245-260.

209 Modi G, Pillay V, Choonara YE. Advances in the treatment of neurodegenerative disorders employing nanotechnology. Annals of the New York Academy of Sciences 2010;1184:154-172.

210 Leary SP, Liu CY, Yu C, Apuzzo ML. Toward the emergence of nanoneurosurgery: Part I-Progress in nanoscience, nanotechnology, and the comprehension of events in the mesoscale realm. Neurosurgery 2005;57(4):606-634. Leary SP, Liu CY, Apuzzo ML. Toward the emergence of nanoneurosurgery: Part II-Nanomedicine: Diagnostics and imaging at the nanoscale level. Neurosurgery 2006;58(5):805-823. Leary SP, Liu CY, Apuzzo ML. Toward the emergence of nanoneurosurgery: Part III-Nanomedicine: Targeted nanotherapy, nanosurgery, and progress toward the realization of nanoneurosurgery. Neurosurgery 2006;58(6):1009-1026.

211 Jain KK. Nanocardiology. Jain KK. The handbook of nanomedicine. Op. Cit. p. 261-270.

212 Lanza G, Winter P, Cyrus T, Caruthers S, Marsh J, Hughes M, Wickline S. Nanomedicine opportunities in cardiology. Annals of the New York Academy of Sciences 2006;1080:451-465.

213 Pison U, Welte T, Giersig M, Groneberg DA. Nanomedicine for respiratory diseases. European Journal of Pharmacology 2006;533(1-3):341-350.

En nanoortopedia se busca la mejora diagnóstica en imagen mediante artroscopia[214], mejora de implantes ortopédicos[215] (para reducir la reacción a implantes ya existentes, o incrementar la actividad de células óseas en la superficie de implantes), realizar nanoimplantes de hueso, uso de nanotubos para diseño de articulaciones artificiales, tratamiento de problemas con el cartílago, etcétera.[216]

En nanooftalmología existirían aplicaciones en el estudio de mecanismos de la patología ocular, regeneración del nervio óptico, neovascularización en trastornos degenerativos[217], monitoreo de la presión intraocular[218], lucha contra degeneración macular[219] y ceguera[220], etcétera.

En nanoendocrinología se ha trabajado en el desarrollo de implantes inteligentes de liberación de insulina en el caso de diabetes mellitus, pero existen otras posibles aplicaciones en endocrinopatías varias[221], así como en aspectos nutricionales[222].

---

214 Jain KK. Nanodevices for medicine and surgery. Jain KK. The handbook of nanomedicine. Op. Cit. p. 183-193.

215 Streicher RM, Schmidt M, Fiorito S. Nanosurfaces and nanostructures for artificial orthopedic implants. Nanomedicine (London) 2007;2(6):861-874.

216 Jain KK. Nano-orthopedics. Jain KK. The handbook of nanomedicine. Op. Cit. p. 271-176.

217 Jain KK. Nano-ophthalmology. Jain KK. The handbook of nanomedicine. Op. Cit. p. 295-301.

218 Zarbin MA, Montemagno C, Leary JF, Ritch R. Nanotechnology in ophthalmology. Canadian Journal of Ophthalmology 2010;45(5):457-476.

219 Thomson H, Lotery A. The promise of nanomedicine for ocular disease. Nanomedicine (London) 2009;4(6):599-604.

220 Kumar S. Nanophthalmology: New frontier in fighting blindness? Eye (London) 2006;20(12):1455-1456.

221 Roelfsema F, Biermasz NR, Pereira AM, Romijn J. Nanomedicines in the treatment of acromegaly: Focus on pegvisomant. International Journal of Nanomedicine 2006;1(4):385-398.

222 Srinivas PR, Philbert M, Vu TQ, Huang Q, Kokini JL, Saltos E, Chen H,

En nanomicrobiología clínica la nanomedicina modificaría el papel de los microorganismos en la enfermedad[223], así como su manejo[224]; en nanodermatología ya se ha aprovechado el diseño de nanopartículas como bloqueadores solares[225], etcétera.

Se investigan posibles aplicaciones en nanogeriatría[226], nanourología[227], nanopediatría[228], nanootorrinolaringología[229], nanoodontología[230] y na-

Peterson CM, Friedl KE, McDade-Ngutter C, Hubbard V, Starke-Reed P, Miller N, Betz JM, Dwyer J, Milner J, Ross SA. Nanotechnology research: Applications in nutritional sciences. Journal of Nutrition 2010;140(1):119-124.

223 Jain KK. Nanomicrobiology. Jain KK. The handbook of nanomedicine. Op. Cit. p. 277-294.

224 Yacoby I, Benhar I. Antibacterial nanomedicine. Nanomedicine (London) 2008;3(3):329-341.

225 Abramovits W, Granowski P, Arrazola P. Applications of nanomedicine in dermatology: Use of nanoparticles in various therapies and imaging. Journal of Cosmetic Dermatology 2010;9(2):154-159.

226 Jain KK. Miscellaneous applications. Jain KK. The handbook of nanomedicine. Op. Cit. p. 311-327.

227 Jin S, Labhasetwar V. Nanotechnology in urology. Urologic Clinics of North America 2009;36(2):179-188.

228 McCabe ER. Nanopediatrics: Enabling personalized medicine for children. Pediatric Research 2010;67(5):453-457. Machado MC, Cheng D, Tarquinio KM, Webster TJ. Nanotechnology: Pediatric applications. Pediatric Research 2010;67(5):500-504.

229 Hornyak GL. Nanotechnology in otolaryngology. Otolaryngologic Clinics of North America 2005;38(2):273-293.

230 Freitas RA Jr. Nanodentistry. Journal of the American Dental Association 2000;131(11):1559-1565. Saravana KR, Vijayalakshmi R. Nanotechnology in dentistry. Indian Journal of Dental Research 2006;17(2):62-65.

noestomatología[231], sexología forense[232], medicina sexual[233], etcétera. Esto parece ser solamente el inicio.

5.5. La larga tradición de los autómatas y la corta historia de los nanorobots

El tema de los autómatas ha sido ampliamente tratado desde el siglo XIX, tanto por la ciencia de la época como por la literatura[234]. La palabra "autómata" aparece en el DRAE a mediados de tal siglo, con el significado de «La máquina que tiene en sí misma el principio de su movimiento»[235]. En la edición vigente del DRAE, se refiere a «1. Instrumento o aparato que encierra dentro de sí el mecanismo que le imprime determinados movimientos. 2. Máquina que imita la figura y los movimientos de un ser animado». Con estos significados se ha

231 Patil M, Mehta DS, Guvva S. Future impact of nanotechnology on medicine and dentistry. Journal of Indian Society of Periodontology 2008;12(2):34-40.

232 Horsman KM, Barker SL, Ferrance JP, Forrest KA, Koen KA, Landers JP. Separation of sperm and epithelial cells in a microfabricated device: Potential application to forensic analysis of sexual assault evidence. Analytical Chemistry 2005;77(3):742-749.

233 Ghanem H, Ghanem M. Possíveis aplicações dos nanorobôs na medicina sexual: Um artigo de revisão. Arquivos H. Ellis - Saúde Sexual e Reprodutiva 2006;3(1):4-8. Shindel A, Garcia M, Lue T. Nanomedicine made easy. Newsbulletin of the International Society for Sexual Medicine 2008;26:15-17.

234 Montiel L. Sobre máquinas e instrumentos (I): El cuerpo del autómata en la obra de E.T.A. Hoffmann. Asclepio. Revista de Historia de la Medicina y de la Ciencia 2008;60(1):151-176. Montiel L. Sobre máquinas e instrumentos (I): El mundo del ojo en la obra de E.T.A. Hoffmann. Asclepio. Revista de Historia de la Medicina y de la Ciencia 2008;60(2):207:232. No quiere decir que antes del siglo XIX no se hubiese tratado el tema; de hecho, está desde la antigüedad.

235 Real Academia Española. Diccionario de la lengua castellana por la Real Academia Española. 9ª ed. Madrid: Imprenta de D. Francisco María Fernández; 1843. p. 80.

reflexionado si los seres humanos son autómatas[236], o alguna forma de autómatas con conciencia[237].

Por otra parte, la palabra "robot" se utiliza por primera vez en una obra de teatro de 1920, "RUR"[238]. La obra es escrita por Karel Čapek[239], quien le atribuye a su hermano Josef[240] la paternidad del término[241]. Etimológicamente "robot" significa en checo "trabajo" o "prestación personal"[242]. En

236 James W. Are we automata? Mind 1879;4(13):1-22.

237 Seth J. Are we 'conscious automata'? Philosophical Review 1894;3(3):278-288.

238 "Rossumovi univerzální roboti", en español, "Robots universales Rossum". Estrenada en 1921 en el Teatro Nacional de Praga y en 1922 en Nueva York. Versión en español Čapek K. RUR. Robots Universales Rossum: Obra en tres actos y un epílogo. Barcelona: Círculo de Lectores; 2004. Los robots que se describen en la obra no son como se entienden en el sentido popular actual: son entidades biológicas que pueden ser confundidas con humanos, no son metálicos o mecánicos. Sus partes se producen y ensamblan, y por ello estas máquinas biológicas no nacen ni crecen.

239 Karel Čapek (9 de enero de 1890; Male Svatoňovice, Bohemia, Imperio Austrohúngaro - 25 de diciembre de 1938; Praga, Checoslovaquia). Uno de los escritores en lengua checa más importantes del siglo XX. Autor destacado de ciencia ficción, antes que se reconociera tal género. En su obra aparecen menciones anticipadas a la producción masiva, armas atómicas, inteligencia post-humana, etcétera.

240 Josef Čapek (23 de marzo de 1887; Hronov, Bohemia, Imperio Autrohúngaro - abril de 1945; Bergen-Belsen, Alemania). Artista checo, más conocido como pintor; también fue escritor.

241 Zunt D. Who did actually invent the word "robot" and what does it mean? Disponible en URL: http://web.archive.org/web/20150415062618/ http://capek.misto.cz/english/robot.html Se presenta una traducción al inglés (por Norma Comrada) de un texto original en checo, escrito por el propio Karel Čapek, dirigido al Diccionario Oxford, el cual le atribuía la creación de la palabra "robot".

242 Según el DRAE, robot proviene del checo "robota", "servil, trabajo forzado", de "rab", "esclavo". La raíz eslava detrás de "robota" sería "orb-", de la raíz indo-europea "*orbh-", referido al paso de propiedad de algo hacia otro. El checo "robota" es similar al derivado alemán "arbeit", "trabajo", que podría descender de una palabra que significara "trabajo esclavo" y posteriormente generalizado como "trabajo". The Free Dictionary. Entrada: robot. Disponible en URL: http://www.thefreedictionary.

español entra al DRAE hasta 1970, cuando le define como «1. Ingenio electrónico que puede ejecutar automáticamente operaciones o movimientos muy varios. 2. Autómata»[243]. Actualmente, para el DRAE se trata de una «Máquina o ingenio electrónico programable, capaz de manipular objetos y realizar operaciones antes reservadas solo a las personas». También se ha reflexionado sobre semejanzas y diferencias entre robots y seres humanos[244].

A mediados del siglo xx, Asimov utiliza por primera vez el término "robótica"[245] y enuncia las tres leyes de la misma presentes en su obra: 1) Un robot no debe dañar a un ser humano o, por su inacción, dejar que un ser humano sufra daño. 2) Un robot debe obedecer las órdenes que le son dadas por un ser humano, excepto si estas órdenes entran en conflicto con la Primera Ley. 3) Un robot debe proteger su propia existencia, hasta donde esta protección no entre en conflicto con la Primera o la Segunda Ley. Se han propuesto una ley 0, varias formas de leyes 4 y 5, modificaciones y adiciones varias, etcétera. Se han realizado múltiples reflexiones y críticas, ya que las propias leyes no dicen (ni tienen por qué hacerlo) qué entienden por "daño", "ser humano", etcétera.

Otro concepto relacionado es el de "androide", que para el DRAE significa «autómata de figura de hombre». Actualmente se refiere a un

com/robot Muy probablemente se trata de la palabra checa más conocida en otras lenguas. Manethová E. Robot es la palabra checa más difundida en el mundo. Disponible en URL: http://www.radio.cz/es/articulo/75442

243 Real Academia Española. Diccionario de la lengua española. 19ª ed. Madrid: Espasa-Calpe; 1970. p. 1415.

244 Lacey AR. Men and robots. Philosophical Quarterly 1960;10(38):61-72.

245 Aparece en *Runaround*, escrito en 1941 y publicado en la edición de marzo de 1942 de la revista *Astounding Science Fiction* (posteriormente aparecería junto a otras ocho historias cortas en *I, Robot*, en 1950 bajo la edición de Gnome Press). El propio Asimov declararía después que utilizó la palabra "robótica" pensando que existiría, así como "hidráulica", "mecánica", etcétera.

robot[246] o a un organismo sintético[247], de características antropomorfas, diseñado para lucir y actuar como un humano, imitando aspectos conductuales de forma autónoma.

Por otra parte, la cibernética es definida por el DRAE como el «estudio de las analogías entre los sistemas de control y comunicación de los seres vivos y los de las máquinas; y en particular, el de las aplicaciones de los mecanismos de regulación biológica a la tecnología». Corresponde al estudio interdisciplinario de la estructura de los sistemas reguladores; está estrechamente relacionada a la teoría de control y a la teoría de sistemas. Tanto en sus orígenes como en su evolución, en la segunda mitad del siglo XX, la cibernética es igualmente aplicable tanto a los sistemas físicos como a los sociales (basados en el lenguaje). Los sistemas complejos afectan y luego se adaptan a su ambiente externo; técnicamente, se centran en funciones de control y comunicación. Esta capacidad está presente en los organismos vivos y se ha imitado en máquinas y organizaciones. Se presta atención especial a la retroalimentación y sus conceptos derivados. Además, ha desempeñado un papel decisivo para la revolución tecnológica actual.

El acrónimo ciborg se crea en 1960[248], al reunir cibernética y organismo. Para el DRAE se trata de un «Ser formado por materia viva y dispositivos electrónicos». El término da a entender que dispositivos mecánicos y tecnológicos son introducidos con el fin de restablecer y/o mejorar las capacidades de la parte orgánica. De acuerdo con algunas concepciones, la relación física y metafísica de la humanidad con la tecnología actual ya habría empezado la transformación de la humanidad en ciborgs. Algunos ejemplos serían el uso de prótesis externas

246 Van Riper AB. Science in popular culture: A reference guide. Westport: Greenwood Press; 2002. p. 10.

247 Dinello D. Technophobia!: Science fiction visions of posthuman technology. Austin: University of Texas Press; 2005. p. 109.

248 Clynes ME, Kline NS. Cyborgs and space. Astronautics 1960;26-27,74-76.

(miembros o partes de ellos), así como el uso de dispositivos electrónicos (marcapasos, implantes cocleares), etcétera. No es posible una simplificación excesiva del término (como en el caso de las prótesis externas), ya que un concepto clave en cibernética es la retroalimentación (que sí está presente en los dispositivos electrónicos).

Con estos conceptos introducidos, se puede ahora hablar de dos posibilidades teóricas propuestas en el desarrollo nanotecnológico con aplicaciones médicas: autómatas biomoleculares y nanorobots (que podrían tener posibilidades diagnósticas, terapéuticas, o ambas).

Los autómatas biomoleculares[249] tienen como base la utilización de ácidos nucleicos, fundamentalmente DNA, como base de nanosistemas. Si bien estos sistemas pueden tener aplicaciones en bionanotecnología, la idea de mostrarlos en este momento es por la repercusión en nanobiotecnología. Los conceptos cruciales para comprender el papel del DNA como material de nanoconstrucción, serían los siguientes[250]:

1) El DNA es una molécula rígida en su conformación de doble hélice; esta rigidez puede aumentar si varias dobles hélices están unidas entre sí, en motivos[251].

2) Las interacciones intra e intermoleculares entre moléculas de DNA son altamente predecibles basándose en el apareamiento de bases de Watson-Crick; las interacciones pueden ser programadas dependiendo de la composición de la secuencia del DNA.

---

249 Jonoska N. Biomolecular automata. En: Shoseyov O, Levy I (Eds.). NanoBio-Technology. BioInspired devices and materials of the future. Totowa, New Jersey: Humana Press; 2008. p. 267-299.

250 Murata S, Stojanovic MN. DNA-based nanosystems. New Generation Computing 2008;26(3):297-312.

251 Del inglés "motif", es un patrón estructural tridimensional que puede ser debido a la secuencia de nucleósidos (motivo secuencial), o a la estructura secundaria o terciara (motivo estructural).

3) El DNA puede ser obtenido mediante un sintetizador automático. También puede ordenarse cualquier secuencia de DNA (con menos de 100 bases) a las compañías biotecnológicas especializadas.

4) Están disponibles en el mercado herramientas sofisticadas para la biotecnología de DNA: enzimas que cortan o ligan el DNA, partículas fluorescentes como marcadores, amplificación por reacción en cadena de la polimerasa (Polymerase Chain Reaction, PCR), etcétera. También existen métodos de purificación y caracterización estructural bien desarrollados.

5) Si están programados adecuadamente a través de bases de Watson-Crick, los motivos de DNA se auto-ensamblan en solución. Este auto-ensamblado en estructuras más complejas es altamente deseable en pequeña escala, debido a las dificultades técnicas de montaje de objetos en nanoescala a través de los métodos de top-down. Hay dos conceptos útiles que son clave para entender el auto-ensamblaje de los motivos de DNA: uno es "extremos pegajosos" (resultado de la digestión del DNA con enzimas de restricción, obteniéndose en los extremos DNA de cadena simple, complementario a otro DNA de cadena simple que tenga las bases correspondientes); el otro es "motivos ramificados de DNA" (o DNA de unión, que se obtiene cuando se conectan varias hélices juntas en una estructura no lineal sino arborescente, y que ayudará a construir estructuras no lineales más complejas). Los motivos de auto-ensamblado del DNA son diversos tipos de DNA ramificado con extremos pegajosos. De acuerdo con la geometría y la conectividad entre los motivos pueden construirse varios tipos de diseños.

6) El último concepto básico para entender la nanotecnología de DNA es "migración de ramas" o "desplazamiento de cadena". Consiste en un proceso de sustitución selectiva de una cadena de DNA en su complemento con otra cadena con una mayor complementariedad, es decir, con un mayor número de pares de bases de Watson-Crick. Este proceso puede utilizarse en la corrección de errores durante el auto-ensamblaje de DNA, en la aplicación de puertas lógicas más complejas, y en el control de motores de DNA.

En las últimas tres décadas la investigación en estos temas ha llevado al desarrollo de la nanotecnología estructural del DNA como base de los autómatas biomoleculares. Se ha utilizado el DNA para construir una variedad de dispositivos nanomecánicos, incluyendo moléculas que cambian sus formas y moléculas que pueden "caminar" sobre una tira de DNA. Los motivos ramificados más rígidos pueden ser utilizados para producir el auto-ensamblaje de celosías o rejillas periódicas de DNA bidimensionales y tridimensionales (cristales)[252].

Con este conocimiento disponible, junto a los avances en nanocomputación y nanoingeniería, el gran reto es el diseño de dispositivos moleculares sintéticos que se ejecuten de manera autónoma (sin cambios mediados externamente por ciclo de trabajo) y que sean programables (que su comportamiento pueda ser modificado sin un rediseño completo del dispositivo). Los dispositivos moleculares sintéticos basados en el DNA tienen la ventaja de ser relativamente simples para el diseño y la ingeniería, debido a lo predecible de la estructura secundaria de nanoestructuras de DNA y la bioquímica bien establecida para manipularlas. Sin embargo, idealmente debería minimizarse el uso de enzimas proteicos en el diseño de un dispositivo basado en la síntesis molecular basada en DNA[253].

Sin duda, la investigación teórica (de matemáticos y científicos computacionales) y experimental (de bioquímicos y biólogos moleculares) hará que puedan conseguirse las promesas que ofrecen los autómatas biomoleculares para la nanomedicina.

Otro tema promisorio es el de los nanorobots con aplicaciones médicas, diagnósticas o terapéuticas[254]. Desde los esbozos de Feynman

---

252 Seeman NC. Nanomaterials based on DNA. Annual Review of Biochemistry 2010;79:65-87.

253 Reif JH, Sahu S. Autonomous programmable DNA nanorobotic devices using DNAzymes. Theoretical Computer Science 2009;410(15):1428-1439.

254 García Barreno P. De Calderón y cibercirugía. Madrid: Real Academia Española; 2006.

hasta la actualidad el avance ha sido extraordinario: ha aumentado la complejidad en el desarrollo de materiales[255], sensores[256], nanodispositivos con movimiento[257], procesado de la información de tareas de nanomanipulación[258], uso de nanomateriales con anticuerpos como base de nanorobots[259]; mejor control de nanorobots en medios líquidos[260], etcétera. Existen propuestas concretas para aplicaciones en áreas tales como urología[261], angiología[262], endocrinología[263], etcétera.

---

255 Popov AM, Lozovik YE, Fiorito S, Yahia L. Biocompatibility and applications of carbon nanotubes in medical nanorobots. International Journal of Nanomedicine 2007;2(3):361-372.

256 Domanski K, Janus P, Grabiec P, Perez R, Chaillet N, Fahlbusch S, Sill A, Fatikow S. Design, fabrication and characterization of force sensors for nanorobot. Microelectronic Engineering 2005;78-79:171-177.

257 Ouyang PR, Tjiptoprodjo RC, Zhang WJ, Yang GS. Micro-motion devices technology: The state of arts review. International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2008;38(6):463-478.

258 Petrina AM, Petrin AA. On the question of information processing in nanomanipulation tasks. Automatic Documentation and Mathematical Linguistics 2008;42(2):136-142.

259 Gorbyk PP, Dubrovin IV, Petranovska AL, Abramov MV, Usov DG, Storozhuk LP, Turanska SP, Turelyk MP, Chekhun VF, Lukyanova NY, Shpak AP, Korduban OM. Chemical construction of polyfunctional nanocomposites and nanorobots for medico-biological applications. En: Shpak AP, Gorbyk PP. (Eds.) Nanomaterials and supramolecular structures. Physics, chemistry, and applications. Heidelberg: Springer; 2009. p. 63-78.

260 Hogg T. Maintaining your health from within: Controls for nanorobot swarms in fluids. Studies in Health Technology and Informatics 2009;149:311-321.

261 Challacombe B, Althoefer K, Stoianovici D. Emerging robotics. En: Dasgupta P, Fitzpatrick J, Kirby R, Gill IS. (Eds.) New technologies in urology. London: Springer-Verlag; 2010. p. 49-56.

262 Hogg T, Freitas Jr RA. Chemical power for microscopic robots in capillaries. Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine 2010;6(2):298-317.

263 Cavalcanti A, Shirinzadeh B, Kretly LC. Medical nanorobotics for diabetes control. Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine 2008;4(2):127-138.

Resulta todo un reto en las discusiones sobre nanociencias diseñar nanorobots con nanomateriales que tengan las características ideales mencionadas previamente, con la posibilidad de ser dirigidos por computación y/o que tengan la capacidad de auto-movimiento, reproducción, auto-replicación y/o auto-producción en el medio interno, sin que se pierda el control sobre ellos y/o el auto-control que se les puede programar, y que cumplan con las leyes de la robótica de Asimov[264]. Existen diseños propuestos sobre nanorobots para generar fagocitos mecánicos artificiales ("microbívoros"[265]), eritrocitos mecánicos artificiales ("respirocitos"[266]), plaquetas mecánicas artificiales ("coagulocitos"[267]), sistemas mecánicos de liberación ideal de medicamentos ("farmacitos"[268]), vectores ideales de terapia génica ("cromalocitos"[269]), etcétera. Sin embargo, hasta finales del año 2016, no se ha fabricado ninguno de estos prototipos, y se encuentran lejos de someterse a un ensayo clínico[270]. Por

---

264 Petrina AM. Robotics: Present and future. Scientific and Technical Information Processing 2008;35(2):73-79.

265 Freitas RA Jr. Microbivores: Artificial mechanical phagocytes using digest and discharge protocol. Journal of Evolution and Technology 2005;16(1):disponible en URL: http://jetpress.org/volume14/freitas.html

266 Freitas RA Jr. Exploratory design in medical nanotechnology: A mechanical artificial red cell. Op. Cit.

267 Freitas RA Jr. Clottocytes: Artificial mechanical platelets. IMM Report Number 18: Nanomedicine. In conjunction with Foresight Update 41. Disponible en URL: http://www.imm.org/publications/reports/rep018/

268 Freitas RA Jr. Pharmacytes: An ideal vehicle for targeted drug delivery. Journal of Nanoscience and Nanotechnology 2006;6(9-10):2769-2775.

269 Freitas RA Jr. The ideal gene delivery vector: Chromallocytes, cell repair nanorobots for chromosome replacement therapy. Journal of Evolution and Technology 2007;16(1):disponible en URL: http://jetpress.org/volume16/freitas.html Bushko RG. Fight for chromallocyte. Studies in Health Technology and Informatics 2009;149:322-331.

270 Hace una década se postuló que la aparición de los primeros nanorobots sería hacia el 2011, y una nueva generación hacia el 2016; habrá que reformular los cálcu-

ello, escenarios distópicos como el de una "plaga gris"[271] se encuentran más en el terreno de la ciencia ficción.

En todo caso, hay que destacar que las máquinas moleculares que se han conseguido desde la química o la electrónica molecular no concuerdan con lo que preconizara Drexler en *Engines of Creation*: no son máquinas mecánicas estándar (modelo cartesiano), ni sistemas complejos (modelo de von Neumann). De este modo, lo que parece que hay que hacer es redefinir, o al menos limitar, el concepto de "máquina" en la escala nanométrica. Parece ser que la nanotecnología debería desarrollar sus propios métodos de análisis y clasificación de máquinas[272], y de este

---

los. Patel GM, Patel GC, Patel RB, Patel JK, Patel M. Nanorobot: A versatile tool in nanomedicine. Journal of Drug Targeting 2006;14(2):63-67.

271 Del inglés "grey goo"; idea planteada por Drexler desde Engines of Creation. En el capítulo 4 Motores de abundancia, plantea la posibilidad de un crecimiento exponencial descontrolado de las nanomáquinas; en el capítulo 11 Motores de destrucción, considera que esas máquinas puedan diseminarse hasta dañar o eliminar la biosfera. «"Plantas" con "hojas" no más eficientes que las celdas solares de hoy podrían dejar fuera de competencia a las plantas, llenando la biosfera de follaje no comestible. "Bacterias" omnívoras resistentes podrían sacar de competencia a las bacterias reales: podrían diseminarse como polen soplado, replicarse rápidamente, y reducir la biosfera a polvo en cuestión de días. Replicadores peligrosos fácilmente podrían ser muy fuertes, pequeños, y diseminarse demasiado rápido para ser detenidos... al menos si no hacemos ninguna preparación» (Drexler KE. Engines of creation 2.0. Op. Cit. p. 355). Posteriormente refina el concepto (Phoenix C, Drexler E. Safe exponential manufacturing. Nanotechnology 2004;15:869-872). Este escenario de daño a la biosfera se le ha denominado ecofagia [Freitas RA Jr. Some limits to global ecophagy by biovorous nanoreplicators, with public policy recommendations. Disponible en URL: http://www.foresight.org/nano/Ecophagy.html y http://www.rfreitas.com/Nano/Ecophagy.htm Esto plantea reflexiones éticas particulares, dado que no es un hecho en el momento actual, y aún parece remoto.].

272 Guchet X, Bensaude-Vincent B. Nanomachine: Technological concept or metaphor? En: Jotterand F. (Ed.) Emerging conceptual, ethical and policy issues in bionanotechnology. New York: Springer; 2008. p. 27-41.

modo poder hablar de una nanorobótica en sentido estricto y no como mera extensión de la tecnología o de la robótica en la macroescala.

6. Nanomedicina en la práctica clínica

Ya se aclararon las diferencias entre "práctica clínica" e "investigación clínica". Para utilizar nanopartículas o diseñar un nanorobot que se utilice dentro de la "práctica clínica" habría que realizar investigación, preclínica y clínica.

¿Es la nanomedicina una práctica clínica? A enero del año 2016 se encontraban registrados en los NIH de EEUU 110 ensayos clínicos que incluyen el prefijo "nano"[273]. Aunque la hemerografía sobre nanomedicina sigue creciendo a un ritmo exponencial, en su inmensa mayoría es investigación que no ha alcanzado el ensayo clínico (y en muchas ocasiones no pasa de la fase de investigación básica o preclínica). No existe en el mundo un programa de residencia médica en nanomedicina, y cuando se encuentran postgrados corresponden a cursos de maestría (máster, magister) y doctorado, con su enfoque más clásico orientado hacia la investigación y no con un afán profesionalizante. En otras palabras: la nanomedicina no puede considerarse todavía una práctica clínica generalizada, a pesar de usos varios de la nanobiotecnología, sobre todo en el diagnóstico. Un gran reto sigue siendo llegar al tratamiento de patologías específicas en pacientes humanos.

Otro gran reto es el que va aunado a la práctica e investigación clínicas: el aspecto regulatorio. Desde el punto de vista ético habría que distinguir entre estas dos esferas, la "práctica" y la "investigación", ya que no solamente son diferentes las consideraciones científicas y

[273] ClinicalTrials.gov A service of the U. S. National Institutes of Health. Disponible en URL: http://clinicaltrials.gov/ct2/results?term=nano

técnicas entre ambas, sino también las éticas. No es igual la ética en la práctica clínica que en la investigación clínica. Dando un paso más, tampoco son iguales las regulaciones jurídicas en materia de práctica clínica y en la investigación clínica.

7. Resumen

Una forma específica de la aplicación de la nanobiotecnología corresponde a sus usos actuales y futuros en atención a la salud, lo que se denomina como nanomedicina. Si bien las actividades de educación y prevención de los profesionales de la salud son muy importantes, el enorme potencial de la nanomedicina parece enfocarse a las áreas de diagnóstico y pronóstico, y de tratamiento y rehabilitación. Grandes temas en desarrollo con promisorios avances en la terapéutica los constituyen la administración dirigida de fármacos y la medicina regenerativa. Además, resulta prometedor el tema del teranóstico (la unión del diagnóstico y el tratamiento), que llevaría a una medicina personalizada a nivel molecular gracias al trabajo en la nanoescala. Algunas especialidades médicas tienen más investigaciones y mayores avances en temas nanomédicos, aunque la nanomedicina no puede considerarse actualmente una práctica clínica diseminada y consolidada (por lo menos, todavía no). Un tema que ha llamado la atención del gran público ha sido el de los nanorobots, aunque no se haya fabricado hasta el momento ninguno (a pesar de existir varios prototipos diseñados y propuestos).

«Hasta aquí Aretusa; dos gemelas sierpes la diosa fértil
a sus carros acercó y con los frenos sujetó sus bocas,
y por medio del cielo y de la tierra, por los aires se hizo llevar,
y su ligero carro hacia la ciudad tritónida envió
y a Triptólemo en parte a la ruda tierra unas semillas por ella dadas
le ordenó esparcir, en parte en la tierra tras tiempos largos de nuevo cultivada.
Ya sobre Europa sublime el joven y de Asia
la tierra se había hecho llevar: a las escíticas costas regresa.
El rey allí Linco era; del rey alcanza él los penates.
De dónde venía y la causa de su camino y su nombre preguntado,
y su patria: "Patria es para mí la clara", dijo, "Atenas,
Triptólemo mi nombre; he venido, ni en una popa a través de las ondas,
ni a pie por las tierras: se abrió para mí, transitable, el éter.
Dones llevo de Ceres que esparcidos por los anchos campos
fructíferos sembrados y alimentos suaves devuelvan."
El bárbaro se enojó, y para que el autor de tan gran regalo
él mismo pudiera ser, en hospitalidad lo recibió y del sueño presa
lo atacó a hierro: cuando intentaba atravesarle el pecho
un lince Ceres lo hizo, y de nuevo por los aires ordenó
al mopsopio joven que condujera su sagrada yunta»[274].

Así describe Ovidio la revolución neolítica, la primera revolución biotecnológica: el ser humano aprende a domesticar animales y a cultivar vegetales, dejando atrás el periodo de caza y recolección e inaugurando la ganadería y la agricultura. En la segunda revolución biotecnológica aparece la biotecnología tradicional: se descubren procesos

[274] Ovidio. Metamorfosis. Libro 5. 642-661. Ovidio. Metamorfosis. Libros I – V. Madrid: Gredos; 2008.

enzimáticos nuevos y el ser humano se regala yogur, queso y vino. La tercera revolución biotecnológica es la que se asocia con la biotecnología moderna[275].

Cabe pensar que la revolución que marca la nanomedicina (como nanobiotecnología en la atención a la salud) corresponde a una parte de la compleja revolución tecnocientífica actual, no solamente como revolución científica y tecnológica, sino como una revolución cultural, en el sentido de las transformaciones en el proceso de civilización que ocurren con carácter acelerado, radical y permanente[276].

Existe una novedad sin precedentes en la actual revolución tecnocientífica. Durante el proceso de hominización, el ser humano tuvo que adaptarse *al* medio; desde la revolución neolítica, el ser humano ha venido adaptando *el* medio; en la actualidad, el ser humano puede llegar a adaptarse a sí mismo y dirigir su propia evolución[277]. Las dudas éticas aparecen por todas partes: ¿el ser humano se adapta *al* ser humano, o a *un* ser humano?, ¿cuál debe ser el modelo a seguir?, de existirlo ¿debe hacerse? Aquí se dibuja el problema fundamental: ¿es éticamente admisible hacer todo lo científica y tecnológicamente posible? Si la respuesta fuese un "sí" o un "no", ¿por qué? ¿Hay límites en el actuar humano? ¿Quién los impone? ¿Cómo se imponen?

---

275 Entendiendo como biotecnología a «toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos». Convenio sobre la Diversidad Biológica en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Río de Janeiro, 3 a 14 de junio de 1992). Versión en español disponible en URL: http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf

276 Maliandi R. De la revolución de Triptolemo a la crisis planetaria. En: Maliandi R. Cultura y conflicto. Investigaciones éticas y antropológicas. Buenos Aires: Biblos; 1984. p. 159-175.

277 Mainetti JA. ¿Quo Vadis Homo?: La poshumanidad. Revista Colombiana de Bioética 2007;2(1):11-32.

1. ¿Qué es la ética?

Si el propósito general de esta obra es proponer un marco para el análisis de los problemas éticos que surjan con la introducción de la nanotecnología en la atención a la salud, hay que aclarar qué es eso de la ética. Pareciera una obviedad, pero si no se sabe qué se está entendiendo por ética, puede ser que coloquialmente haya entendimiento, pero no a nivel especializado. Habría que iniciar diciendo que en realidad existen muchas éticas y muchas formas de entender lo que es la ética. Para ello, hay que recordar una perogrullada: el devenir histórico hace que la realidad sea cambiante, los problemas distintos, y la forma de enfrentarlos llegará un momento en que sea, por necesidad, diferente.

El último libro que publicó en 1956 Gregorio Marañón, médico y pensador español, lo dedicó a Doménikos Theotokopoulos, el Greco. En el prólogo de ese texto, titulado *El Greco y Toledo*, Marañón se pregunta ¿qué hubiera sido de Teresa de Jesús si en lugar de haber nacido en Ávila en el siglo xvi hubiese nacido en el siglo xviii? ¿Habría sido Santa Teresa? La respuesta es que seguramente no: todo ser humano es hijo de su momento histórico. Después se cuestiona, ¿qué hubiera sido de El Greco si en lugar de haber llegado a España hubiese permanecido en Grecia? ¿Habría sido El Greco? Seguramente tampoco: todo ser humano es hijo de su contexto sociocultural. Los seres humanos son siempre seres históricos y socioculturales, y no pueden no serlo. Indudablemente, un ser humano no puede resumirse exclusivamente a esta condición, pero es innegable que todo lo que un ser humano quiere ser, lo que puede ser, y lo que llega a ser, dependerá en buena medida de ese contexto.

Diego Gracia considera que «el conocimiento de la realidad no es sólo lógico, sino también histórico; es lógico históricamente y es his-

tórico lógicamente»[278]. En el mismo texto, Gracia dice más adelante que «Esto supone tanto como afirmar que nuestro conocimiento de las cosas es siempre provisional e incompleto. De ahí la necesidad de estar sometiéndolo a continua revisión. Lo cual significa que el saber sobre la realidad tiene siempre fecha, responde a una situación determinada concreta, y, en consecuencia, que nuestra razón se halla necesariamente situada en el tiempo, y que, por tanto, es histórica».

Esto significa que así como los seres humanos son en alguna medida una construcción histórica y sociocultural, todo producto humano también lo es. Las ciencias, las disciplinas y los saberes, son construcciones; la ética, como no podría ser de otra manera, no escapa a esto. Por ello se mencionó que en alguna medida hay una evolución de la ética como disciplina, la ética no puede contentarse con la mera repetición de éticas previas.

Este análisis siempre resulta complicado por los problemas que tiene el intentar complementar el desarrollo filogenético y ontogenético del ser humano. «La cultura, el lenguaje, la moral, etcétera, tienen en común que, cuando se les analiza en relación con ***el*** ser humano, se está haciendo un análisis filogenético, y puede afirmarse que el ser humano les crea. Sin embargo, cuando se les analiza en relación con ***un*** ser humano, el análisis es ontogenético, y puede afirmarse que, de diferentes modos, crean al ser humano. Así, cuando alguien nace, le precede una cultura, un leguaje, una moral, etcétera»[279].

Con todo lo anterior, si hay una determinación sociohistórica de todo saber humano (limitada, es cierto), pero el ser humano tiene esa posibilidad creativa (también limitada), no cabe más que considerar que el ser

---

278 Gracia D. Prólogo. En: Sánchez González MA. Historia de la medicina y humanidades médicas. Madrid: Elsevier; 2012. p. xi-xiii.

279 Álvarez-Díaz JA. Los inicios de la bioética en Estados Unidos. En: Herreros Ruiz-Valdepeñas B, Bandrés Moya F. Historia ilustrada de la bioética. Madrid: Fundación Tejerina; 2015. p. 147-158.

humano algo debe realizar cuando formula juicios éticos. Si bien cada ser humano nace en una sociedad con normas morales ya dadas, no todos los seres humanos las siguen sin más. Tampoco puede pensarse que los seres humanos tengan la necesidad de crear un sistema ético completo para poder vivir. Los seres humanos se sitúan en esa posición, difícil, incómoda tal vez, en que deben analizar y cuestionar la vida moral, la tradición heredada en la cultura, para determinar si se sigue, y si no se sigue, para encontrar el por qué no seguirla. De aquí surge el filosofar.

En palabras de Xavier Zubiri[280], «En todo hombre, la filosofía es cosa que ha de fabricarse por un esfuerzo personal. No se trata de que cada cual haya de comenzar en cero o inventar un sistema propio. Todo lo contrario. Precisamente, por tratarse de un saber radical y último, la filosofía se halla montada, más que otro saber alguno, sobre una tradición. De lo que se trata es de que, aun admitiendo filosofías ya hechas, esta adscripción sea resultado de un esfuerzo personal, de una auténtica vida intelectual. Lo demás es brillante "aprendizaje" de libros o espléndida confección de lecciones magistrales. Se pueden, en efecto, escribir toneladas de papel y consumir una larga vida en una cátedra de filosofía, y no haber rozado, ni tan siquiera de lejos, el más leve vestigio de vida filosófica. Recíprocamente, se puede carecer en absoluto de "originalidad", y poseer, en lo más recóndito de sí mismo

[280] Xavier Zubiri Apalategui (San Sebastián, 4 de diciembre de 1898 – Madrid, 21 de septiembre de 1983). Filósofo español. Estudia en el seminario de Madrid con Juan Zaragüeta, luego en la Universidad de Madrid con Ortega y Gasset, en Alemania con Husserl y Heidegger; además, durante la guerra civil trabaja en Francia, en física con Louis de Broglie, y en filología con Èmile Benveniste. Aceptando la crisis de la razón, hace una metafísica por medio de una filosofía de la realidad. Influye en la teología de la liberación a través de Ignacio Ellacuría y Ángel Jubera, en filosofías contemporáneas de la praxis, y en bioética a través de Diego Gracia.

el interno y callado movimiento del filosofar»[281]. Y entiéndase que la ética es una parte de la filosofía, de modo que esto aplica perfectamente a la reflexión ética, conocida también como "filosofía moral".

Ya han aparecido dos palabras fundamentales: moral y ética. La ética, ya se dijo, es una rama de la filosofía, la llamada filosofía moral, que responde a la pregunta de "¿qué debo hacer?". Para responder a esta pregunta, la filosofía hace un análisis para entender qué se entiende por moral, cuáles son sus fundamentos, y cómo a partir de ellos pueden establecerse guías para la acción. La filosofía se hace sobre la moral, no sobre la moralina. Desgraciadamente, muchas veces cuando se invoca la palabra "ética" suele entenderse como "moralina", definida por el DRAE como una "moralidad inoportuna, superficial o falsa". Desdichadamente, existe gente e instituciones que entienden así la ética, como simple y mera moralina. Por ello, hay quien atiende a los temas éticos, más por la fuerza o "necesidad" que por una motivación propia, viéndolos meramente como una prédica pseudo o cuasiclerical, empalagosa y ñoña, considerando que en el fondo lo que se está haciendo es perfumar una realidad maloliente por putrefacta; más que "ética" se trataría de una mera "cosmética", por razones meramente "estéticas": se ve "bien" hablar de ética, aunque nadie haga caso en serio.

Por otra parte, hay quien intenta ponerse absolutamente posmoderno, hasta el intento casi humorista de peguntarse "¿y la ética para qué?". Sin embargo, cuando hay un fraude electoral, cuando sucede una catástrofe natural y las autoridades no atienden a la población como es debido, cuando una empresa quiebra y deja a la deriva no solamente a los inversionistas sino a los trabajadores, suele decirse "eso no es justo", "¿qué nos ha pasado?", etcétera. Evidentemente, el invocar

[281] Zubiri X. Naturaleza, Historia, Dios. Madrid: Alianza/Fundación Xavier Zubiri; 1974. p. 27-28.

la noción de justicia, es hacer un juicio ético; lo que es la justicia, lo justo y lo injusto, no lo brinda la ciencia sino el saber filosófico.

Adela Cortina[282] recuerda de vez en cuando en sus obras que para Ortega y Gasset[283] lo que debería implantarse en la gente es la moralita, no la moralina. La moralita sería un análogo de la dinamita, un explosivo tan potente como éste, pero a nivel espiritual, que no se fabrica con pólvora, sino con el bosquejo de cuál debería ser un comportamiento auténticamente humano.

Cortina formuló hace tres décadas una propuesta ética, montada en la tradición, en la cual establece una diferencia entre lo que son las éticas de máximos y la ética mínima[284]. Primeramente, hay que partir del hecho de que en los Estados democráticos contemporáneos existe una pluralidad de valores que no existe en Estados absolutistas. Cuando hay un monismo axiológico éste se consigue siempre por imposición, pero al momento en que no se coacciona en materia de valores, la gente va tomando decisiones y escogiendo los que le parecen apropiados. Así, en los Estados contemporáneos democráticos existen distintas éticas de máximos, las cuales son éticas que tienen propuestas de vida buena, de vida feliz, de vida en plenitud. En una sociedad plural hay distintos grupos que ofertan

---

282 Adela Cortina Orts (1947; Valencia, España -). Filósofa española. Catedrática de filosofía moral y política de la Universidad de Valencia. Como becaria de la DAAD y de la Alexander von Humboldt-Stiftung profundizó estudios en las Universidades de Munich y Francfort. Introductora del pensamiento de Karl Otto Apel a la lengua española. Con una vasta obra ética, primera mujer en ingresar a la Real Academia de Ciencias Morales y Políticas.

283 José Ortega y Gasset (9 de mayo de 1883-18 de octubre de 1955; Madrid, España). Filósofo español a quien se suele dividir su obra en tres etapas: la objetivista, la perspectivista, y la raciovitalista, considerada su pensamiento maduro.

284 Cortina A. Ética mínima. Madrid: Tecnos; 1986. Cortina A. Lo justo como núcleo de las ciencias morales y políticas. Una versión cordial de la ética del discurso. Madrid: Real Academia de Ciencias Morales y Políticas; 2008.

diferentes propuestas de este tipo; se trata de una gran tarea de la ética, pero sobre todo se trata de una gran aspiración del ser humano. Aristóteles decía en su *Ética a Nicómaco* que todos los seres humanos tienden a la felicidad y eso es así: todos los seres humanos tienden a la felicidad como una gran aspiración. En esas sociedades plurales existen propuestas para alcanzar la felicidad, algunas religiosas y algunas seculares.

Sin embargo, para que las éticas de máximos puedan convivir, es necesario que encuentren y cuenten con unos mínimos de justicia que sean compartidos por todos los ciudadanos; a esto se refiere la "ética mínima", sería una "ética cívica" o "ética de los ciudadanos", una ética donde los ciudadanos deberían ser los protagonistas de la vida moral. Por ello es imprescindible distinguir entre lo que son las aspiraciones personales como invitaciones a la felicidad, de lo que son las exigencias de justicia para todos los ciudadanos. Una primera diferencia fundamental entre felicidad y justicia es que la justicia se exige, mientras que la felicidad es algo que jamás se puede exigir, que jamás se puede imponer, y a la que solamente se puede invitar. Es crucial recordar que las invitaciones a la felicidad se hacen para que los seres humanos, si quieren, las acepten o se adhieran, pero que al adherirse lo hagan libremente.

Por otra parte, cuando existen demandas de justicia se anhelan no solamente para sí mismos, no solamente para el propio grupo, sino que se considera que merecerían ser extendidas universalmente. Esto es así porque el valor de la justicia es estimado gracias al sentimiento de indignación: los seres humanos son capaces de dolerse no solamente por los que les sucede a sí mismos, sino que además son capaces de dolerse por lo que les sucede a otros. El sentimiento de indignación es extensivo, los seres humanos se indignan por el sufrimiento de males para los cuales no hay legitimación alguna. Cuando alguien dice que algo es injusto, no quiere decir que no le gusta, que no le conviene, o que no

lo aprueba; lo que quiere decir es que ese algo considerado injusto no debería ser así, no solamente para sí, no solamente para el propio grupo, sino que no debería ser para nadie en ningún lugar. Aquí es donde comienzan las complicaciones, por que cuando alguien afirma de algo que es justo o injusto, no pretende que sea solamente una opinión personal que expresa de una manera más o menos humilde, sino que exige de lo justo que valga para todos. Además, si encuentra a alguien que no esté de acuerdo con la propuesta, se está dispuesto a hablar sobre ello porque es necesario, ya que no sería suficiente decir "bueno, se trata de una mera opinión".

Si alguien considerara que para ser feliz hay que acudir cada fin de semana para una determinada serie de prácticas (religiosas, como un culto; o seculares, como una actividad deportiva), puede ser muy feliz, pero no puede (ni debe) a exigir al resto que realice las mismas prácticas para que sean felices; a lo sumo, podrá invitarles. Sin embargo, si alguien se entera que casi la mitad de los más de 7'000'000'000 de habitantes de este planeta se encuentra bajo los límites de la pobreza, perfectamente puede llenarse de indignación y estimarlo como algo injusto. Si otro llega y dice "bueno, tampoco es tan injusto; debe haber sido cuestión de mala suerte", el primer hablante no se quedaría tranquilo diciendo "bueno, son dos opiniones diferentes", sino que en cuestiones de justicia hay que hablar para ponerse de acuerdo. No se trata de algo muy subjetivo, sino antes bien, de algo intersubjetivo; esta intersubjetividad es lo que otorga el cierto grado de objetividad que puede tener, y que de hecho tiene, ese valor que se denomina como "justicia".

En este sentido, una ética cívica adecuada para las sociedades democráticas sería aquella que contiene los mínimos de justicia que esa sociedad piensa que es necesario defender para no caer bajo mínimos de humanidad. Esto es lo que quiere decir "ética mínima": hay unos mínimos de humanidad por debajo de los cuales no se puede caer sin

caer en inhumanidad. Si alguien le parece que no es relevante que esa parte de la población se encuentre bajo los límites de pobreza y que derivado de ello muera tanta gente, se está bajo mínimos de humanidad. Contar con unos mínimos de justicia no quiere decir que no haya que seguir ampliándolos paulatinamente, sino que caer por debajo de ellos significa caer bajo mínimos de humanidad. Desgraciadamente, hace tanto tiempo que las sociedades se encuentran bajo esos mínimos, que por ello a muchos les parece plantear una utopía. No importa, ya que todo sistema ético de alguna manera plantea horizontes que no son utópicos, sino que proporcionan guías para la acción.

2. Ciencia y ética

Las relaciones entre ciencia y ética han cambiado a lo largo de la historia. En un primer periodo, el antiguo, se tiene la convicción de que la ciencia es "pura". En un segundo periodo, que nace con la modernidad, la ciencia es considerada "pura" y la técnica "impura". En un tercer periodo, contemporáneo y que nace a mediados del siglo xx, la ciencia se considera, hasta nuestros días, "impura"[285].

Este sentido de "pureza" es la llamada "neutralidad" de la ciencia, postura no sostenible en la actualidad. Esta actitud la tienen, humanistas como Weber[286] (en su conferencia de 1919 *El político y el científico*), y científicos como Curie[287], quien en una conferencia contemporánea

[285] Gracia D. Ciencia y ética. En: Gracia D. Ética y vida. Estudios de bioética 4. Profesión médica, investigación y justicia sanitaria. Bogotá: El Búho; 1998. p. 59-76.

[286] Maximilian Carl Emil Weber (21 de abril de 1964; Érfurt, Turingia, Alemania - 14 de junio de 1920; Munich, Baviera, Alemania). Filósofo, economista, jurista, historiador, politólogo y sociólogo alemán. Su obra ha influido notablemente todos estos campos del saber.

[287] Marie Curie (nacida Marja Skłodowska; 7 de noviembre de 1867; Varsovia,

a la de Weber, dice: «Pero no debemos olvidar que cuando se descubrió el radio nadie sabía que resultaría útil en los hospitales. La obra fue de ciencia pura. Y esto es una prueba de que el trabajo científico no debe ser considerado desde el punto de vista de la utilidad directa del mismo. Hay que hacerlo por sí mismo, por la belleza de la ciencia, y así siempre existe la posibilidad de que un descubrimiento científico pueda llegar a ser, como el radio, un beneficio para la humanidad»[288].

En el siglo xx se ha logrado un gran desarrollo en las ciencias, particularmente en dos: en la primera mitad del siglo la física, y en la segunda mitad la biología. En la primera mitad del siglo xx sucede que, tras muchas consideraciones (sobre todo el Proyecto Manhattan), se considera que la ciencia no es, ni puede ser, neutra. Oppenheimer[289] llegó a decir que «En cierto sentido crudo, que ninguna vulgaridad, broma o exageración puede borrar totalmente, los físicos han conocido el pecado; y esto es un conocimiento que no pueden perder»[290].

Zarato de Polonia, Imperio Ruso - 4 de julio de 1934; París, Francia). Química y física polaca nacionalizada francesa. Premio Nobel de física en 1903 y de química en 1911. Casada con el físico Pierre Curie y madre de Irène Joliot-Curie (Premio Nobel de química en 1935). Contribuye a la creación de la teoría de la radioactividad (término que acuña), técnicas de aislamiento de isótopos radioactivos, descubre dos nuevos elementos (polonio y radio).

288 Curie M. The discovery of radium. Address at Vassar College, 14 May 1921. Ellen S. Richards monographs no. 2. Poughkeepsie, NY: Vassar College; 1921.

289 Julius Robert Oppenheimer (22 de abril de 1904; Nueva York, eeuu – 18 de febrero de 1967; Princeton, Nueva Jersey, eeuu). Físico estadounidense, director científico del proyecto Manhattan. Sus logros incluyen la aproximación Born-Oppenheimer, trabajos sobre la teoría electrón-positrón, el proceso Oppenheimer-Phillips, y la primera predicción del efecto de túnel cuántico. Con sus estudiantes realizó contribuciones a la teoría moderna sobre estrellas de neutrones y agujeros negros, así como a la teoría de la mecánica cuántica, teoría del campo cuántico, y las interacciones de los rayos cósmicos.

290 Oppenheimer JR. Physics in the Contemporary World. Bulletin of the Atomic Scientists 1948;4(3):65-68, 85-86. Reproducción de un discurso pronunciado

Esta "pérdida de la inocencia" de la ciencia, que conlleva la toma de conciencia de los riesgos de la investigación científica, es una de las varias circunstancias que originan, de distintas maneras, el nacimiento de la bioética, una ética aplicada. Otros factores fueron la emancipación de los pacientes, el desarrollo de la biología, y la aplicación de nuevas técnicas en la biomedicina[291]. La bionanotecnología y la nanobiotecnología no son, ni pueden ser, neutras. Aunque históricamente aparecen después de la época en que se ubica el nacimiento de la bioética, es innegable que cada desarrollo científico y tecnológico no podrá ya ser neutro, y si tiene alguna relevancia para las ciencias de la vida y de la salud, tampoco podrá pasar inadvertido por la bioética.

3. Tecnología y ética

3.1. Filosofía de la tecnología

La filosofía de la ciencia y la filosofía de la tecnología son producto del siglo xx. En el caso de la filosofía de la tecnología, el primer requisito fue preguntarse si existía algo característico, distinto de lo que podía abordar la filosofía de la ciencia[292]. Toda vez que la filosofía de la tec-

---

el 25 de noviembre de 1947; los ataques nucleares que ordenó Harry Truman se realizaron el lunes 6 de agosto de 1945, detonando en Hiroshima a "Little Boy", y cuatro días después soltando en Nagasaki a "Fat Man" (se estima que a finales de 1945 habían muerto como producto de las bombas unos 140'000 seres humanos en Hiroshima y 80'000 en Nagasaki, la gran mayoría civiles). Se comenta como anécdota que, después de los lanzamientos, Oppenheimer le comentó a Truman que se sentía con las manos cubiertas de sangre, recibiendo como respuesta un pañuelo y una invitación a limpiárselas.

291 Gracia D. Origen, fundamentación y método de la bioética. En: Martínez Martínez JA, de Abajo FJ. (Coord.). La bioética en la educación secundaria. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia; 2007. p. 9-50.

292 Durbin PT. Are there interesting philosophical issues in technology as dis-

nología se ha desarrollado, ha generado una bibliografía extensa sobre el tema[293].

Hoy puede afirmarse que efectivamente existe una filosofía de la tecnología, con diferentes acercamientos[294], que podrían clasificarse en tres grupos: las aproximaciones esencialistas[295] (asumen que hay aspectos inherentes a la tecnología; que es, por ejemplo, buena, mala, neutral o inevitable), las aproximaciones del modelado social[296] (asumen que no hay propiedades esenciales, sino que la tecnología es un producto de la sociedad y refleja o incorpora sus orígenes en diferentes sentidos), y las aproximaciones sesgadas o parciales[297] (consideran que la tecnología no es neutral, está parcializada, politizada o es útil selectivamente).

---

tinct from science? An overview of philosophy of technology. PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association 1976; Volume Two Symposia and Invited Papers:139-152.

293 Durbin PT. Advances in philosophy of technology? Comparative perspectives. Philosophy & Technology 1998;4(1):6-24. Durbin PT. Philosophy of technology in the Americas in the last twenty-five years. Teorema 1998;17(3):87-95.

294 Ihde D. Has the philosophy of technology arrived? A state-of-the-art review. Philosophy of Science 2004;71(1):117-131.

295 Duramente criticadas, poco sostenibles en la actualidad. Winner L. Autonomous technology: Technics-out-of-control as a theme in political thought. Cambridge: MIT Press; 1977. Versión en español Winner L. Tecnología autónoma: La técnica incontrolada como objeto del pensamiento político. Barcelona: Gustavo Gili, D. L.; 1979.

296 Winner L. Do artifacts have politics? Daedalus 1980;109(1):121-136. Winner L. Upon opening the black box and finding it empty: Social constructivism and the philosophy of technology. Science, Technology, and Human Values 1993;18(3):362-378.

297 Winner L. The whale and the reactor: A search for limits in an age of high technology. Chicago: University of Chicago Press; 1986. Versión en español Winner L. La ballena y el reactor: Una búsqueda de los límites en la era de la alta tecnología. Barcelona: Gedisa; 1987.

El siguiente paso es preguntarse si la nanotecnología tiene algo característico o distinto de lo que puede abordar la filosofía de la tecnología en lo general.

3.2. La nanotecnología como disciplina autónoma

¿Qué es lo que hace que un campo del conocimiento sea tal? Es una pregunta importante en filosofía de la ciencia. Si se piensa en los casos de la biología o la química, hay quien diría que son disciplinas específicas, mientras que hay quien propondría que se pueden reducir a la física, en tanto que muchas explicaciones pueden darse desde la interacción de los átomos, para la construcción de moléculas y la interacción de éstas en el medio inorgánico y orgánico. Algo similar puede pensarse de la nanotecnología: que efectivamente constituye una disciplina por sí misma, o que puede entenderse solamente desde la tecnología, o bien desde la física. En la actualidad parece claro que la química y la biología son disciplinas por sí mismas, si bien con explicaciones que aporta la física de algunos de sus fenómenos. A la nanotecnología le sucede algo similar: tiene su propia autonomía; aunque se necesiten explicaciones que aporta la física, no puede reducirse solamente a ésta[298]. Del mismo modo que no es exactamente igual el comportamiento de un átomo de nitrógeno, que el que puede tener en química en un grupo radical amino, o el que puede exhibir en la conformación de una proteína con actividad biológica, así puede establecerse la comparación con el comportamiento diferente de los materiales en la nanoescala. Tal vez por esta ganancia de autonomía

[298] Lin P, Allhoff F. Nanoscience and nanoethics: Defining the disciplines. En: Allhoff F, Lin P, Moor J, Weckert J. Nanoethics. The ethical and social implications of nanotechnology. New Jersey: Wiley-Interscience; 2007. p. 3-16.

en tanto que disciplina es que se han iniciado los estudios sociales de la nanotecnología[299].

3.2.1. Sociología de la nanotecnología

La sociología es la ciencia que estudia, describe y analiza los procesos de la vida en sociedad, cuyo objeto de estudio son los seres humanos y sus relaciones sociales, para determinar la estructura y funcionamiento de las sociedades humanas. No ha estado ajena a las relaciones sociales que se establecen para la generación de la tecnología, o como resultado de la aplicación de la misma. Tampoco ha estado ajena al análisis de la nanotecnología. Para la sociología de la nanotecnología, es importante distinguir entre dos categorías: "nanates" y "nanites"[300].

3.2.1.1. Nanates y nanites

En una primera forma de explicarlo, los nanates (**nan**o-m**ate**rial**s**) corresponden a los nanomateriales surgidos de las tecnologías que manipulan la nanoestructura de materiales de la macroescala. De este modo, la agenda social incluye aspectos de ingeniería química y de ciencia de los materiales. Por otro lado, los nanites (**nan**o-mach**ines**; se conserva la "t" como en nanates por eufonía[301]) surgen de las tecnologías que

---

299 Shapira P, Youtie J, Porter AL. The emergence of social science research on nanotechnology. Scientometrics 2010;85(2):595-611.

300 Suchman MC. Envisioning life on the nano-frontier. En: Roco MC, Bainbridge WS (Eds.) Societal implications of nanoscience and nanotechnology. Boston: Kluwer Academic Publishers; 2001. p. 271-276.

301 El término parece más una herencia de la ciencia ficción, ya que "nanites", aparece en el episodio número 50 de *Star Trek: The Next Generation* ("Evolution"), donde aparecen unos robots microscópicos llamados así, los cuales son inofensivos

construyen dispositivos por manejo de elementos de la macroescala[302]. Así, la agenda social incluye aspectos de ingeniería mecánica y robótica. Una distinción general entre nanates y nanites, considerados como arquetipos, pone de manifiesto las "condiciones de enlace" para poder realizar las predicciones acerca de cómo la nanotecnología transformará (o no) el orden social.

En una segunda forma de explicar estas categorías, puede decirse que los nanates son aplicaciones pasivas de la nanotecnología, que ya se encuentran en el mercado (algunas de ellas desde hace tiempo, como las películas fotográficas, las cuales explotan reacciones químicas de partículas a nanoescala en un nanocompuesto), y que son fáciles de elaborar. Por otro lado, los nanites son aplicaciones activas de la nanotecnología, son sistemas en los cuales la información se transfiere activamente a un sistema particular en nanoescala o entre un sistema en la nanoescala y sus alrededores[303].

---

individualmente pero muy poderosos cuando cooperan en tareas comunes.

302 Suchman MC. Social science and nanotechnology. En: Roco M, Tomellini R. (Eds.) Nanotechnology: Revolutionary opportunities and societal implications. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2002. p. 95-99.

303 Bathude-Thibierge M. Technological marketing for early nanotechnologies. En: Fecht HJ, Werner M (Eds.) The nano-micro interface: Bridging the micro and nano worlds. Weinheim: Wiley-VCH; 2004. p. 32. Un poco antes (p. 20) este texto propone que los modismos que han surgido en lengua inglesa se sigan utilizando con la nomenclatura en esa lengua para facilitar la comunicación; sugiere como ejemplos las aproximaciones o enfoques "top-down" y "bottom-up", y la distinción entre "nanates" y "nanites". A los nanites también se les denomina como nanorobots (como en el capítulo anterior), nanobots, nanoides, nanonites y nanomites. Ion RM, Munteanu D. Nanotechnology - Nanorobotics – Nanomedicine. Metalurgia International 2009;14(special issue 2):43-46. (Ion et al. se refieren a los nanites como "dispositivos hipotéticos")

Ambas formas de explicar el fundamento de una distinción para el estudio de las repercusiones sociales de la nanotecnología muestran una distinción elaborada previamente entre nanotecnología común (u ordinaria) y nanotecnología futurista. Los nanates tienen que ver con la nanotecnología común, mientras que los nanites tienen que ver con la nanotecnología futurista. Esta distinción es crucial para el análisis de las implicaciones sociales, actuales (nanates) y futuras (nanites).

Una vez realizada la distinción entre nanates y nanites, hay que decir las implicaciones sociales de cada categoría[304]. Por un lado, queda claro que la distinción entre nanates y nanites es de algún modo "académica" o "artificial", dado que se está hablando de nanotecnología en ambos casos. Sin embargo, realza una dimensión importante en la diferenciación del impacto de la nanotecnología: los nanates pueden plantear graves problemas prácticos y éticos para dominios particulares de la política, pero estos retos surgirán en una macroescala familiar, para la cual se cuentan con numerosas normas, instituciones y precedentes históricos. En cambio, los nanites obligarán a reformular reglas e instituciones para gobernar un escenario extraño por lo novedoso, con el cual no se cuenta con ninguna experiencia previa. De este modo, las consideraciones de políticas públicas, regulaciones, etcétera, se manejarían de diferente forma para los nanates y los nanites.

Para una sociología de la nanomedicina también hay que hablar de innovaciones (o tecnologías) disruptivas e innovaciones sostenidas (discontinuas o transformacionales, y continuas o evolutivas).

304 Una revisión rápida de la propuesta de Mark Charles Suchman (doctor en sociología y en derecho) en Martins PR. Introducción a la nanotecnología: Un análisis sociológico. Arxius de Ciències Socials 2005;12/13:141-148.

3.2.1.2. Innovaciones disruptivas e innovaciones sostenidas

Christensen[305] introduce el término de "tecnología disruptiva" en 1995[306], describiéndolo a profundidad un par de años después como "innovación disruptiva"[307]. Christensen considera que algunas tecnologías son intrínsecamente disruptivas o sostenibles de por sí. Mediante esta estrategia la tecnología permite crear el denominado impacto disruptivo en un mercado. El concepto de tecnología disruptiva proviene de una larga búsqueda de los economistas de herramientas que identifican cambios radicales en el estudio de la innovación, así como su gestión para definir estrategias empresariales o políticas

"Innovación disruptiva" es un término usado principalmente en los negocios y la literatura sobre tecnología para describir las innovaciones que mejoran un producto o servicio de una forma que el mercado no espera, por lo general mediante la reducción de precio o diseñando un conjunto diferente de consumidores. En medicina, una innovación disruptiva pudo ser la máquina de rayos X (no existía mercado previo a esta innovación, ya que no se podía prever). Actualmente puede ser la nanomedicina.

En contraste con la innovación disruptiva, la innovación "sostenida" no tiene ningún efecto en los mercados existentes. Las innovaciones sostenidas pueden ser "discontinuas" ("transformacionales") o "conti-

---

305 Clayton M. Christensen (6 de abril de 1952; Salt Lake City, Utah, EEUU -). Máster en econometría aplicada y economía de países menos desarrollados, y máster en administración de negocios. Actualmente profesor de administración de negocios (Robert and Jane Cizik Professor of Business Administration) en la Universidad de Harvard.

306 Bower JL, Christensen CM. Disruptive technologies: Catching the wave. Harvard Business Review 1995;72(1):43-53.

307 Christensen CM. The innovator's dilemma: When new technologies cause great firms to fail. Boston: Harvard Business School Press; 1997.

nuas" ("evolutivas"). Las innovaciones transformacionales no siempre son disruptivas. Una innovación discontinua pudo ser la introducción de la tomografía axial computada (utilización de rayos X transformando nuevas posibilidades: observar cortes anatómicos, apreciar mejor algunas partes blandas, etcétera). Otro ejemplo de innovaciones continuas o evolutivas sería la aplicación de nuevas técnicas de imagen (como la resonancia magnética nuclear, en la cual ya no se utilizan rayos X).

Christensen ha intentado aplicar estos conceptos a la atención a la salud[308], dando ejemplos de innovaciones disruptivas en dos aspectos complementarios: las profesiones sanitarias y las instituciones sanitarias. Los profesionales sanitarios los clasifica desde la superespecialización (médicos especialistas y subespecialistas, médicos de atención primaria y medicina familiar, y enfermeras prácticas[309]) hasta el prescindir de ellos en el auto-cuidado del paciente. Para el caso de las instituciones sanitarias, desde las más complejas (grandes hospitales universitarios de enseñanza, clínicas especializadas en un área determinada, cuidado que puede ofrecerse en un consultorio) hasta el cuidado que puede brindarse en el domicilio del paciente. Las innovaciones disruptivas llevarían a acercar la atención al auto-cuidado en el domicilio del paciente.

Quienes han intentado aplicar estos conceptos a la nanomedicina[310], consideran que: la nanotecnología es una tecnología que crea posibilidades, ya existen innovaciones sostenidas en la atención clínica

---

308 Christensen CM, Bohmer R, Kenagy J. Will disruptive innovations cure health care? Harvard Business Review 2000;78(5):102-111.

309 "Nurse practitioner"; en EEUU se trata de personal con licenciatura (o grado) de enfermería, y postgrado (máster/maestría, o doctorado práctico).

310 Best R, Khushf G. The social conditions for nanomedicine: Disruption, systems, and lock-in. Journal of Law, Medicine & Ethics 2006;34(4):733-740.

(como la medición de la glucemia en casa)[311], las innovaciones disruptivas pueden anticiparse (en tanto que las sostenidas es más difícil hacerlo); además, que las consideraciones éticas no pueden realizarse de igual manera para algo que es previsible que para algo que no lo es. Evidentemente, nada es del todo previsible, hacia el futuro la constante es la incertidumbre, por lo que la ética tiene el gran reto de realizar análisis sobre el futuro, sobre lo que aún no ocurre, sobre lo que puede ocurrir, precisamente para intentar que ocurra de un modo óptimo, aunque no se consiga. Ya desde la *Ética a Nicómaco*, Aristóteles dice que las cosas pueden hacerse mal de muchas maneras, pero bien solamente de una.

3.2.2. Antropología de la nanotecnología

La antropología es una ciencia que estudia al ser humano en el marco de la sociedad y cultura a las que pertenece, y, al mismo tiempo, como producto de éstas. Se ocupa de estudiar el origen y desarrollo de toda la gama de la variabilidad humana y los modos de comportamientos sociales a través del tiempo y el espacio; es decir, del proceso biosocial de la existencia de la especie humana. Para abarcar este estudio, la antropología recurre a herramientas y conocimientos producidos por las ciencias naturales y las ciencias sociales.

---

311 Como ya existe una organización (variable) de los sistemas de cuidado sanitario, las innovaciones se integrarían a la práctica. Vosburgh KG, Newbower RS. Moore's Law, disruptive technologies, and the clinician. Studies in Health Technology & Informatics 2002;85:8-13. Se ha considerado el papel de las tecnologías disruptivas en el mejoramiento de la atención a la salud. Satava RM, Wolf RK. Disruptive visions: Biosurgery. Surgical Endoscopy 2003;17(11):1833-1836. Satava RM. Disruptive visions: A robot is not a machine…Systems integration for surgeons. Surgical Endoscopy 2004;18(4):617-620.

La antropología se ha interesado en la tecnología estudiando diferentes disciplinas: la computación[312], la física[313], la biotecnología[314], la medicina[315], etcétera. La antropología de la nanotecnología es aún incipiente. Parece ser que la nanotecnología no ha tenido (todavía) mucha atención por parte de la antropología, ya que los cambios revolucionarios que puede introducir (como su aplicación nanomédica) están por llegar. Así, se han planteado al menos tres posibilidades hacia el futuro[316].

El primer escenario asumiría que la vinculación del capital transnacional con la ciencia y la tecnología llevaría a la creación de unas pocas grandes empresas transnacionales. Este escenario no es del todo improbable, dado que: el proceso de la globalización política y económica parece imparable e irreversible[317], la ciencia de algún modo sirve cada vez más intereses económicos neoliberales[318], y de ahí que

312 Downey GL. The machine in me. An anthropologist sits among computer engineers. New York & London: Routledge; 1998.

313 Traweek S. Beamtimes and lifetimes: The world of high energy physicists. Cambridge: Harvard University Press; 1992.

314 Rabinow P. Making PCR: A story of biotechnology. Chicago: University of Chicago Press; 1996.

315 Strathern M. Reproducing the future. Anthropology, kinship and the new reproductive technologies. Manchester: Manchester University Press; 1992. Franklin S. Embodied progress: A cultural account of assisted conception. London: Routledge; 1997. Han sido particularmente abundantes los análisis que se han hecho sobre las tecnologías reproductivas, ya que se relacionan con temas fundamentales de la antropología cultural, como parentesco y familia.

316 Johansson M. 'Plenty of room at the bottom': Towards an anthropology of nanoscience. Anthropology Today 2003;19(3):3-6.

317 Gracia D. El sentido de la globalización. En: Ferrer JJ, Martínez JL (Eds.). Bioética: Un diálogo plural. Homenaje a Javier Gafo Fernández, S. J. Madrid: Universidad Pontificia Comillas de Madrid; 2002. p. 569-589.

318 Lander E. La ciencia neoliberal. Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales 2005;11(2):35-69.

la tendencia es que el desarrollo tecnocientífico también tiende a globalizarse, en mayor o menor medida (no hay desarrollo tecnocientífico sin mercado).

El segundo escenario contemplaría los estados-nación utilizando la nanotecnología para fortalecer su posición competitiva. Basándose en la inversión ya realizada hasta el momento, los tres bloques dominantes serían EEUU, Europa y Japón; el desarrollo de la nanotecnología es muy caro y pocas empresas son capaces de realizar las inversiones necesarias a largo plazo. Sin embargo, los nanocientíficos seguirían circulando en un escenario global, cambiando sus lugares de trabajo e intercambiando sus ideas en todo el mundo. También parece un escenario muy probable.

El tercer escenario sería que los seres humanos se enriquecen, ya que sería posible producir casi cualquier producto a bajo costo. Los estados-nación ya no serían necesarios para controlar y cobrar impuestos a sus poblaciones; la gente tampoco sería necesaria en la producción, una vez que se contara con nanomáquinas para hacer el trabajo. Cada país será autosuficiente y no habría ninguna razón para guerras o sostener grandes ejércitos. Como puede verse, esto correspondería más a un escenario sobre la nanotecnología futurista, bajo dos supuestos: el pleno desarrollo de los nanites, y sin desigualdades ni inequidades económicas. Corresponde a un escenario no solamente lejano, sino prácticamente imposible dadas las condiciones actuales. Si se consideran análisis económicos como los de Piketty[319], quien ha expuesto en su obra *El Capital en el Siglo XXI*[320] cómo se produce y se concentra la riqueza, no solamente de forma teórica,

---

319 Thomas Piketty (7 de mayo de 1971; Clichy, Hauts-de-Seine, Francia -). Economista francés especialista en desigualdad económica y distribución de la renta. Director de estudios de la Escuela de Altos Estudios en Ciencias Sociales y profesor asociado de la Escuela de Economía de París.

320 Piketty T. Le Capital au XXIe siècle. Paris: Seuil; 2013. Versión en español Piketty T. El Capital en el Siglo XXI. Madrid: Fondo de Cultura Económica; 2014.

sino que analiza empíricamente que lo que ha ocurrido es que la tasa de acumulación del capital crece más rápido que la economía, lo que genera mayor desigualdad. Si a esto se agregan datos como el informe que publicó Oxfam en enero de 2015[321], donde se anunciaba que para 2016 el 1% de la población más rica del mundo tendría más que el 99% restante, queda claro que el escenario capitalista neoliberal no conduciría al tercer escenario planteado, por lo que el más probable sería, entonces, el primero.

3.2.3. Ética de la nanotecnología: Nanoética

3.2.3.1. Origen del término

El 2 de diciembre del 2002 una revista especializada recibe un trabajo que publica el 17 de febrero de 2003[322]. El trabajo trata sobre ciencia y ética en la nanotecnología, sin incluir la palabra "nanoética", ya que no se había acuñado aún este término, el cual habría de surgir en ese mismo 2003.

Por otra parte, el Comité de Ciencia de la Cámara de Representantes de EEUU llevó a cabo una audiencia titulada *Las implicaciones sociales de la nanotecnología* el 9 de abril del 2003[323]. El propósito era examinar el Acta de Investigación y Desarrollo Nanotecnológico (H.R. 766, The Nanotechnology Research and Development Act of 2003), considerando sus implicaciones sociales.

---

321 Hardoom D. Riqueza: Tenerlo todo y querer más. Oxfam; 2015. Disponible el URL: https://www.oxfam.org/sites/www.oxfam.org/files/file_attachments/ib-wealth-having-all-wanting-more-190115-es.pdf

322 Mnyusiwalla A, Daar AS, Singer PA. 'Mind the gap': Science and ethics in nanotechnology. Nanotechnology 2003;14:R9–R13.

323 Committee on Science U.S. House of Representatives. Hearing Charter. The Societal Implications of Nanotechnology. Wednesday, April 9th, 2003. 10:00 a.m. - 12:00 Noon. 2318 Rayburn House Office Building. Disponible en URL: http://www.rpi.edu/~winner/Charter.htm

Se invitaron como testigos a Ray Kurzweil[324], Vicki Colvin[325], Christine Peterson[326], y Langdon Winner[327]. La audiencia se ocupó de tres interrogantes generales: 1) ¿cuáles son las preocupaciones acerca de las aplicaciones actuales y potenciales de la nanotecnología?, 2) ¿cómo es posible anticipar las consecuencias del desarrollo tecnológico?, y 3) ¿cómo pueden la investigación y el debate sobre las preocupaciones sociales y éticas ser integrados en el proceso de investigación y desarrollo, especialmente en los proyectos financiados por el gobierno federal?

Se plantearon preguntas específicas a cada testigo. A Winner se le formularon las siguientes: 1) ¿cuáles factores influyen en la adopción exitosa de nuevas tecnologías en la sociedad?, 2) ¿cuáles preguntas de-

---

324 Ray Kurzweil (12 de febrero de 1948; Massachusetts, EEUU -). Inventor estadounidense, empresario y escritor, especializado en ciencias computacionales e inteligencia artificial. Licenciado en ciencias de la computación y literatura en 1970 por el MIT, con más de una docena de doctorados honorarios. Presidente de la empresa informática Kurzweil Technologies Inc. Autor de The Age of Intelligent Machines (1990) y The Age of Spiritual Machines (1999). Recibió la Medalla Nacional de Tecnología en 1999; ingresó al Salón de la Fama de Inventores Nacionales en 2002 por su invento de 1976: la "máquina lectora Kurzweil", primer dispositivo que transforma texto impreso en palabras con sonidos generados por ordenador.

325 Vicki Colvin. Estadounidense doctorada en química por la Universidad de Berkeley. Directora del CBEN (Center for Biological and Environmental Nanotechnology) de la Universidad de Rice. Sus líneas de investigación se refieren a la seguridad de los nanomateriales.

326 Christine Peterson. Estadounidense, licenciada en química por el MIT, cofundadora del Foresight Institute.

327 Langdon Winner (7 de agosto de 1944; San Luis Obispo, California, EEUU -). Estadounidense, doctor en ciencia política por la Universidad de Berkeley en 1973. Profesor de ciencia política en el Departamento de Estudios de Ciencia y Tecnología del Rensselaer Polytechnic Institute (Troy, Nueva York). Sus áreas de interés son: ciencia, tecnología y sociedad; teoría política: clásica y moderna; filosofía de la tecnología; ética de las profesiones; teoría de diseño interdisciplinario; computación, comunicaciones y sociedad; cultura popular americana; teorías de la sostenibilidad.

ben hacerse durante la fase de investigación y desarrollo para ayudar a minimizar el impacto potencialmente disruptivo de los desarrollos de la tecnología de transformación?, 3) ¿cuáles son las preocupaciones actuales sobre las aplicaciones existentes y potenciales de la ciencia y la ingeniería nanotecnológicas?, y 4) ¿cómo puede ser integrada en el proceso de investigación y desarrollo la investigación sobre las preocupaciones sociales y éticas relativas a la evolución de la nanotecnología?

Durante su intervención, Winner dijo lo siguiente: «Los estudios de este tipo podrían ponerse en marcha de varias maneras, incluida la financiación de programas verdaderamente interdisciplinarios en las universidades para ver las nuevas cuestiones clave y alternativas políticas. Pero yo no les aconsejaría aprobar una Ley Integral de Empleo para Nanoeticistas, patrocinando la creación de una nueva profesión. Aunque la nueva investigación académica en este área sería de algún valor, también hay una tendencia a que aquellos que realizan investigaciones sobre las dimensiones éticas de las tecnologías emergentes sean atraídos hacia las preguntas involucradas más cómodas, incluso triviales, evitando cuestiones que puedan convertirse en foco de los conflictos. El campo profesional de la bioética, por ejemplo, (que podría llegar a ser, por desgracia, un modelo para la nanoética) tiene mucho que decir acerca de muchas cosas fascinantes, pero la gente en esta profesión rara vez dice "no"»[328]. Probablemente lo más interesante de esta respuesta de Winner no es solamente el introducir el término "nanoeticistas", del cual podría inferirse que es quien se dedica a la "nanoética". Queda claro que para Winner la bioética podría ser un modelo para

[328] Winner L. Testimony to the U.S. House of Representatives Committee on Science, Full Science Committee Hearing on The Societal Implications of Nanotechnology, April 9th, 2003. Disponible en URL: http://homepages.rpi.edu/~winner/testimony.htm Un resumen en Winner L. Science policy and the push for nanotechnology. Netfuture: Technology and Human Responsibility 2003;145:disponible en URL: http://www.netfuture.org/2003/May2003_145.html

la nanoética, y se pronuncia en contra de ello; sin embargo, todos los desarrollos posteriores que se comentan en adelante, van en otro sentido. La bioética, siendo una de las primeras éticas aplicadas, con mayor historia y desarrollos teóricos, ha constituido (de diferentes maneras) un referente para otras éticas aplicadas, la nanoética incluida.

En junio de 2003 se publicaba en una revista científica que el Congreso de EEUU quería estudiar los efectos negativos de las nanotecnologías[329]; el breve artículo utilizaba también la palabra "nanoeticista".

En este momento ya deben puntualizarse algunos temas. Primero, en la literatura disponible no parece que exista la palabra "nanoética" o "nanoeticista" antes de la intervención de Winner. Segundo, con los datos disponibles no es posible asegurar que Winner empleó la palabra del mismo modo como Asimov utilizó "robótica", pero sí es posible sugerirlo (toda vez que su interés por la filosofía de la tecnología le ha llevado décadas de investigación y publicaciones, las fundamentales ya citadas previamente). Tercero, es claro en las expresiones de Winner que no cree necesario generar una disciplina especial sobre "nanoética", pero que de aparecer, tampoco comparte que la bioética sea un buen modelo para la novel área en tanto que campo profesional. Con estas tres consideraciones es posible proponer a Winner como el "padre de la nanoética", en tanto que acuña el término, y sugerir que al menos en ese momento no se imaginaba que podría convertirse en una disciplina.

En octubre del 2003 se lleva a cabo un taller en la Academia Nacional de Ingeniería, de las Academias Nacionales de EEUU, con el tema

329 Malakoff D. Nanotechnology research. Congress wants studies of nanotech's 'dark side'. Science 2003;301(5629):27. La primera frase del artículo es «Bioeticistas, hagan espacio para los nanoeticistas». Aunque no se dice directamente, pareciera con ese título que los campos de acción de la bioética y de la nanoética son tan específicos como no coincidentes, de modo que los profesionales que se dediquen a uno de esos campos no podría tratar los del otro campo. Esto sigue dando a entender que, al menos en sus inicios más tempranos, se consieró a la nanoética una posible disciplina sin liga alguna con la bioética.

de las tecnologías emergentes y cuestiones éticas en ingeniería[330]. La intervención que se hizo analizando la ética de la nanotecnología[331] empieza a cuestionarse algunos aspectos cruciales para la nanoética:

- primero, si la nanotecnología ya contaba en ese momento con una autonomía tal que le hiciera tener algún carácter único: «¿Hay problemas éticos únicos asociados a la nanotecnología? En caso afirmativo, ¿cuáles son? Realmente no podemos responder a esta pregunta hasta que determinemos si la nanotecnología es única de algún modo, y, en caso afirmativo, cómo puede ser caracterizada su singularidad. En ese sentido, una adecuada caracterización/definición de la nanotecnología es una preliminar importante para una discusión sobre la nanoética»[332],
- segundo, que el desarrollo de una nanoética como disciplina requeriría de tiempo: «Esto no ocurrirá en pocas semanas o meses, incluso con un esfuerzo concertado. Como ha ocurrido en situaciones similares, como en medicina y bioética o el medio ambiente y la ética medioambiental, tomará tiempo desarrollar la nanoética»[333], y
- tercero, que el surgimiento de la nanoética depende de que se encuentren problemas éticos específicos de la nanotecnología: «La nanoética, como la bioética, es probable que surja solamente después de que las áreas centrales actuales hayan sido identificadas y tratadas»[334].

---

330 National Academy of Engineering of the National Academies. Emerging technologies and ethical issues in engineering. Papers from a workshop October 14-15 2003. Washington, DC: National Academy Press; 2004.

331 Khushf G. The ethics of nanotechnology: Vision and values for a new generation of science and engineering. En: National Academy of Engineering of the National Academies. Op. Cit. p. 29-55.

332 Khushf G. Ibídem. p. 35. Precisamente por esta razón, en este trabajo el inicio fue un marco conceptual de lo que puede ser la nanotecnología.

333 Khushf G. Op. Cit. p. 42. En este punto es destacable que ya se va comparando el desarrollo de la nanoética con el de la bioética, en un sentido positivo, siendo la bioética un marco referencial de su desarrollo en el tiempo.

334 Khushf G. Op. Cit. p. 44.

Se dejaba entrever que la nanoética efectivamente se trataría de una nueva disciplina, la cual estaba naciendo en aquel momento: «La etapa embrionaria de la nanoética es evidente cuando se compara el aumento explosivo de la investigación con el mínimo incremento en la atención a la reflexión ética [...]. Los pocos estudios que se han hecho sobre las cuestiones éticas se han centrado en determinar los temas que se deben abordar [...]. Algunos han tratado de aplicar las preocupaciones generales de la ética de la ingeniería, como la integridad de la investigación o la equidad en la distribución de beneficios, a la nanociencia. [...] Las deliberaciones éticas no se han movido más allá de "la generalización y las declaraciones de maternidad"».[335]

El trabajo publicado por la Academia Nacional de Ingeniería de los EEUU también mencionaba las áreas específicas que requieren una atención especial dentro de la nanotecnología[336], incluyendo las biomédicas: «La nanotecnología tiene el potencial para transformar la medicina, lo que permite nuevas capacidades diagnósticas y terapéuticas que podrían "alterar fundamentalmente las relaciones médico-paciente, la gestión de enfermedades, y la cultura médica en general" [...], la nanotecnología podría mejorar mucho el rendimiento humano al desacelerar los procesos de envejecimiento, proporcionando nuevas capacidades sensoriales, y permitiendo a las interfaces directas cerebro-máquina [...]. Las cuestiones éticas en la interfaz nano/bio requerirá una intensa investigación y la reflexión»[337].

---

335 Khushf G. Op. Cit. p. 45. Estas reflexiones ya indicaban un problema, que era el intento de un marco sin contenido: expresar que la nanotecnología requería de una ética, la nanoética, si acaso indicando algunos problemas, pero sin dar algún tipo de directriz respecto de la solución. No hay que perder de vista que la ética es praxis, es acción, de modo que no debería quedar nunca en la mera reflexión.

336 El documento menciona catálisis, cómputo molecular, nanomateriales, aplicaciones militares, aplicaciones espaciales, energía y otras.

337 Khushf G. Op. Cit. p. 47. Estas interfaces nano/bio son las que parece que no

Por otra parte, en ocasiones llegaba a asumirse que la disciplina ya existía de algún modo, aunque no con ese nombre todavía: «Pero primero debemos determinar el grado en el cual la nanociencia es única, ya que plantea problemas específicos que requieren soluciones específicas […]. Para ello será necesario un diálogo entre quienes trabajan en nanoética y los que trabajan en la ética general de la ciencia y la ingeniería. […] En este sentido, al menos, los investigadores de ética de la ingeniería, la ética empresarial, la ética ambiental y la bioética deben participar en este diálogo»[338]. Esta cita destaca a las éticas aplicadas más desarrolladas.

También en octubre de 2003 se realiza un congreso internacional en Alemania: *International Conference on Discovering the Nanoscale*. El resultado fue un libro donde aparecen dos capítulos que incluyen el tema. Uno de ellos se refiere a varios problemas éticos que plantea la nanotecnología[339], pero sin mencionar la "nanoética"; el otro sí hace referencia al nuevo término, así como a la posibilidad de una nueva disciplina[340]. Este segundo trabajo se pregunta qué es la nanoética, respondiendo «es la ética de la nanotecnología»; considera que si el campo de la nanotecnología no queda claro, el de la nanoética tampoco.

Sin embargo, en tanto que una ética de la nanotecnología, se realizan reflexiones que parecen apuntar a la necesidad no solamente un término nuevo, sino una disciplina: «La nanoética, si se convierte en

---

se han tomado tanto en consideración, de modo que este trabajo es un intento de considerarlas no solamente de forma agregativa, sino sinérgica y complementaria en el caso de la nanomedicina.

338 Khushf G. Op. Cit. p. 48.

339 Robison WL. Nano-Ethics. En: Baird D, Nordmann A, Schummer J. (Eds.) Discovering the nanoscale. Amsterdam: IOS Press; 2004. p. 285-300.

340 Moor J, Weckert J. Nanoethics: Assessing the nanoscale from an ethical point of view. En: Baird D, Nordmann A, Schummer J. (Eds.) Discovering the nanoscale. Amsterdam: IOS Press; 2004. p. 301-310.

un campo independiente, podría ser mejor entendida bajo el modelo de la bioética. La bioética considera las implicaciones éticas de las actividades y resultados no sólo de la medicina, sino también de las ciencias biológicas. […] Del mismo modo, la nanoética consideraría implicaciones éticas de las actividades y los resultados de la nanotecnología y la nanociencia. […] Lo que nos debe preocupar es que la nanotecnología aumentará diversos problemas éticos, algunos son nuevos y otros no lo son, pero cuentan con un punto de vista diferente. Estos problemas éticos deben ser abordados. Asumimos que la empresa de la nanoética sea el examen ético de las repercusiones de la nanotecnología si se considera o no como una disciplina académica específica. […] La nanoética es incipiente, pero a la vez una preocupación importante, aunque todavía no sea una empresa completamente desarrollada, que debe ser mantenida en relación con el desarrollo de la nanotecnología. La nanoética alienta el escepticismo y el control necesarios para mantener la nanotecnología dentro de los límites éticos a fin de que esta nueva tecnología prometedora sólo funcione al servicio de la prosperidad humana»[341]. Aunque en esta cita no se aclara cuáles son los problemas éticos que se van a aumentar y cuáles son los novedosos, puede pensarse que en el momento actual la referencia serían los nanates y los nanites.

En diciembre del mismo año 2003 se lleva a cabo otro congreso, *EuroNanoForum 2003*, en Trieste, Italia[342]. Un objetivo general fue

[341] Moor J, Weckert J. Nanoethics: Assessing the nanoscale from an ethical point of view. Op. Cit. De forma muy interesante, aquí se propone ya no implícitamente sino de forma explícita, que la bioética puede proveer de un buen modelo para el desarrollo de la nanoética.

[342] Primera edición de un congreso que se ha venido celebrando de forma bianual. En 2005 se llevó a cabo en Edimburgo, con el título de "Nanotecnología y la salud para el ciudadano de la Unión Europea en 2020"; en 2007 en Dusseldorf, bajo el título de "Nanotecnología en aplicaciones industriales"; en 2009 en Praga,

discutir el estado de la investigación nanotecnológica, para valorar su presente y qué dirección se debía tomar. También se discutieron cuestiones políticas en relación con la nanotecnología y su impacto social y medioambiental. En un texto con un título un tanto extravagante[343],

denominado "Nanotecnología para una economía sustentable"; en 2011 ha sido en Budapest, bajo el nombre de "Liderando la era nanotecnológica"; en 2013 en Dublín, Irlanda; y en 2015 en Riga, Letonia. Resulta interesante que el primer evento fue dedicado precisamente a las relaciones entre nanotecnología y salud, no solamente desde una perspectiva médica o clínica, sino con un ámbito de actuación más amplio, valga considerarlo como político, al hacer referencia a los ciudadanos de la Unión Europea (una categoría política, "ciudadano", y no una asistencial como "enfermo" o "paciente").

343 Sandberg A. Smurfy nanoethics. Disponible en URL: http://www.aleph.se/andart/archives/2004/06/smurfy_nanoethics.html La traducción del título podría ser "pitufonanoética". Su autor dice que «En general fue un día interesante y constructivo, pero el "pitufoproblema" me molestó. La "pitufolengua", el lenguaje de los Pitufos (donde algunas palabras se sustituyen por los derivados de "pitufo") es generalmente comprensible gracias al contexto de la palabra. Pero ¿qué pasa con el lenguaje de "nano", donde la palabra "nanotecnología" puede significar cualquier cosa, desde la física nuclear a la microelectrónica o a la magia?». En este trabajo sobre aspectos éticos de la nanotecnología en la atención a la salud, se hace la traducción de "smurfese" por "pitufolengua". Peyo (Pierre Culliford; 25 de junio de 1928 – 24 de diciembre de 1992; Bruselas, Bélgica) es el autor de una serie de historietas escritas originalmente en francés, Les schtroumpfs (aparecidos por vez primera en la revista Spirou en 1958). El nombre surge al parecer de una anécdota: Peyo le quería solicitar a Franquin un salero, pero al no recordar el nombre le pidió el "schtroumpf" (André Franquin. Les amis. Disponible en URL: http://www.franquin.com/amis/peyo_amis.php). Posteriormente se tradujo al danés como "smurf", palabra que se adoptó como tal en inglés (Wikipedia. The Free Encyclopedia. Entrada: The Smurfs. Disponible en URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Smurf). Parece ser que se traducen por primera vez al español en 1969, cuando Miguel Agustí (uno de los redactores de la revista "Strong") recordó el personaje de Patufet (figura emblemática del folclore catalán y título de una de las más célebres revistas infantiles de anteguerra en catalán), creando el término "pitufo" (Pons A. Los pitufos negros. Disponible en URL: http://www.la-

un investigador sueco[344] externa su opinión sobre el novedoso tema de la nanoética.

En el trabajo dice que «tal vez no hay necesidad de la palabra "nanoética". Al mismo tiempo, la discusión ética en que estamos entrando es de una importancia extrema, una pitufoparadoja. La bioética es en muchos aspectos un área fructífera de investigación filosófica (y retórica) desde que la biotecnología y la medicina plantean muchas preguntas nuevas que antes no se encontraban en los debates sobre ética (definición de la muerte, modificación de la vida, cambios en la naturaleza humana, etcétera). Estas nuevas cuestiones se posicionan por sí mismas y hacen de la bioética un campo independiente. Uno podría imaginar un campo de "auto-ética" que estudia la ética de los coches y el tráfico, pero ese campo es probable que sólo sea una aplicación de principios éticos ya estudiados. Del mismo modo la nanoética no podría ser un campo real que pueda valerse por sí mismo, sino más bien la aplicación de la ética a la nanotecnología. Tal vez una aplicación importante, pero difícilmente un campo independiente. Esta afirmación sería cuestionada si hubiese cualquier problema realmente diferente discutido respecto a la nanoética. […] La nanoética podría ser necesaria simplemente para mostrar a la gente que los investigadores y las empresas de hecho tienen cuidado. Pero para convertirse realmente en algo más que "mercadeo verde"[345] o la reformulación de los debates éti-

carceldepapel.com/2006/09/10/lecturas-los-pitufos-negros/). Debido a estas cuestiones es que resulta difícil traducir las expresiones del autor. De lo que no hay duda, es que ironiza comparando el prefijo "pitufo" que se utiliza en el lenguaje de los pequeños seres azules, recientemente llevados al cine, con el prefijo "nano".

344 Anders Sandberg (11 de julio de 1972; Solna, Suecia -). Doctor en neurociencia computacional por la Universidad de Estocolmo. Fundador de Eudoxa, Instituto de Políticas. Futurista, transhumanista y escritor.

345 El término que utiliza en inglés es "greenwashing", que se refiere al giro que hacen algunas empresas en la presentación de sus productos para hacerlos aparecer

cos habituales en otra forma, las discusiones deben atreverse a ir hasta los confines más turbios de los objetivos de la tecnología, de los puntos de vista de la naturaleza humana y las diferentes visiones de futuro de la humanidad». Nuevamente, para este autor parecen no existir problemas nuevos dentro de la aplicación de la nanotecnología; trayendo una vez más la distinción entre nanates y nanites podría decirse que en el momento actual las cosas son distintas.

Es importante aclarar que un poco antes del 2003 (en que se sucedieron tantas publicaciones y consideraciones sobre si la nanoética debería existir o no, y si era posible tener algún modelo) la ética de la nanotecnología es incluida en la agenda de un organismo supranacional: UNESCO, a través de su Comité de Ética del conocimiento Científico y Tecnológico (Commission Mondiale d'Éthique des connaissances Scientifiques et des Technologies, COMEST).

Al abordar el punto tercero de la reunión acerca de la "Información sobre la estrategia de futuro a mediano plazo de la UNESCO y el proyecto de programa y presupuesto para 2002-2003", se dijo: «Al abordar nuevos temas, como las nanotecnologías y las nanociencias, la UNESCO debe adoptar una postura multidisciplinaria genuina. Es bastante obvio que las nanotecnologías constituyen un nuevo rumbo en el mundo científico, que no sólo se refiere a la electrónica del estado sólido, sino también la interacción y la combinación de materia inorgánica y los organismos biológicos. Podría aconsejársele al COMEST tomar el tema de los riesgos sobre los valores éticos involucrados en el uso de las nanotecnologías. Este es un tema que el COMEST podría aportar a la vanguardia, participar a los medios e iniciar un debate público»[346].

---

como respetuosos del medio ambiente, cuando, en el fondo, el giro es solamente de forma y no de fondo.

346 United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Informal meeting of the World Commission on the Ethics of Scientific Knowledge and Technology (COMEST). UNESCO Headquarters, 4-5 December 2000. Paris: UNESCO/COMEST; 2000. p. 7.

Esta consideración de la posible (y cada vez más real) interacción y combinación de nanomateriales inorgánicos con organismos biológicos, el ser humano incluido, hace nuevamente destacar que las relaciones nanoética/bioética no son solamente de un modelo de aplicación de una disciplina sobre la otra, ni tampoco quizás de mera relación o interacción, sino que habría que buscar algún tipo de integración de las consideraciones sobre estos problemas. Por cierto, estos problemas bien podrían considerarse como "nuevos", y de ahí la necesidad de un campo específico de análisis y aplicación.

En la Tercera Sesión del COMEST se abordó el tema de "ética y nanotecnología"; era diciembre y finalizaba el multicitado año 2003. En la Sesión "Ética y nanotecnología" hubo cuatro intervenciones[347]; ninguna incluye la palabra "nanoética", pero sí algunas reflexiones que son importantes para la gestación de una nueva terminología y una nueva disciplina.

La primera intervención[348] fue la única que, además de presentarse en la Sesión del COMEST, posteriormente se revisó y se publicó en una revista especializada con arbitraje por pares[349]. El trabajo pretende evitar posturas extremas (sobre considerar *a priori* si hay o no hay una disciplina tal como la nanoética o cualquier otra ética aplicada)

---

347 United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. COMEST Third Session. UNESCO Rio de Janeiro, Brazil, 1-4 December 2000. Paris: UNESCO/COMEST; 2003. p. 29-32.

348 Gordijn B. From utopian dreams and apocalyptic nightmares towards a more balanced view. En: UNESCO. COMEST Third Session. Op. Cit. p. 114-126. Bert Gordijn es doctor en filosofía y en bioética; Director del Instituto de Ética de la Universidad de la Ciudad de Dublín; cuenta con amplia experiencia como jefe de edición en revistas con arbitraje y en ediciones de libros colectivos en materia de éticas aplicadas.

349 Gordijn B. Nanoethics: From utopian dreams and apocalyptic nightmares towards a more balanced view. Science and Engineering Ethics 2005;11(4):521-533. La palabra "nanoética" aparece en esta versión revisada, solamente en su título.

mediante un método con seis pasos: 1) determinar el campo específico de lo que se va a evaluar (proponiendo que para el campo de la nanotecnología serían: materiales y manufactura; nanoelectrónica y tecnología de cómputo; medicina y salud; aeronáutica y exploración del espacio; medio ambiente y energía; biotecnología y agricultura), 2) formular los objetivos el campo de investigación, 3) preguntarse si son éticamente deseables los objetivos determinados, 4) preguntarse si hay alguna contribución de la nanoinvestigación para conseguir los objetivos (asumiendo que el punto anterior fue respondido positivamente), 5) identificar los problemas éticos, y 6) preguntarse si los problemas éticos pueden ser superados. Según este trabajo, con este método se podría evaluar racionalmente la necesidad ética de desarrollar cualquier campo específico. Aplicándolos al tema de nanotecnología, la conclusión parecería ser que efectivamente se requiere de un campo especializado.

La segunda presentación[350] considera que los problemas que plantea la nanotecnología no son nuevos y que solamente son resultado de nuevas tecnologías, nuevos materiales, etcétera. La tercera participación[351] resalta el problema de las pocas fuentes de financiación que se tienen en países emergentes, y el poco debate público que tienen en torno a los temas nanotecnológicos. La cuarta y última exposición no se incluye en la publicación de la Sesión, pero refiere brevemente

[350] Galembeck F. Ethical issues of nanotechnology. En: unesco. comest Third Session. Op. Cit. p. 127-132. Fernando Galembeck (21 de enero de 1943, Sao Paulo, Brasil -), brasileño, doctor en físico-química, ha recibido los premios más importantes que se otorgan a investigadores en Brasil.

[351] Salvarezza RC. Why is nanotechnology important for developing countries? En: unesco. comest Third Session. Op. Cit. p. 133-136. Roberto Carlos Salvarezza (30 de enero de 1952 -), argentino, doctor en bioquímica. Actualmente presidente del Consejo Nacional de Investigaciones Científica y Técnicas, conicet.

que su autor[352] considera que los principales problemas éticos para la nanotecnología están en la salud y la justicia, particularmente en un mundo donde aún existen países con hambre.

Parece ser que al año siguiente del inicio de las discusiones en lengua inglesa, es decir, el 2004, aparece en español la palabra "nanoética", entendiéndola como «una nueva forma de ética aplicada»[353]. Si esto es así, se sumaría a otras éticas aplicadas en desarrollo, de "segunda generación" (si se les compara con la bioética, la ética de la empresa, etcétera), como la "ciberética"[354], la "roboética"[355], o algunas otras propuestas que incluso se debate si son o no ramas dentro de la bioética: la "gen-ética"[356], la "bioética sintética"[357], la "neuroética"[358], etcétera. Lo cierto es que cada una de estas probables nuevas disciplinas (o subdisciplinas) tiene intensos debates sobre lo mismo que se comenta en este trabajo respecto de la nanoética: si tienen un objeto de estudio específico (si no lo hay, no se puede hacer una ética aplicada de un objeto

---

352 Juan Carlos Tealdi, (1951 -), médico especialista en medicina del trabajo, se ha dedicado a cuestiones de derechos humanos y bioética.

353 de Cozar JM. Bio y nanotecnologías: Un encuentro perturbador. Inguruak: Soziologia eta zientzia politikoaren euskal aldizkaria = Revista Vasca de Sociología y Ciencia Política 2004;40:159-186.

354 Fuchs C, Bichler RM, Raffl C. Cyberethics and co-operation in the information society. Science and Engineering Ethics 2009;15(4):447-466.

355 Veruggio G. The birth of roboethics. ICRA 2005, IEEE International Conference on Robotics and Automation. Workshop on Robo-Ethics. Barcelona, April 18, 2005.

356 Statland BE. Gen-ethics: More than just an academic exercise. MLO: Medical Laboratory Observer 1996;28(12):29, 32. Mayor Zaragoza F. Gen-ética. Revista de Derecho y Genoma Humano 2003;(18):15-20.

357 Parens E, Johnston J, Moses J. Do we need "synthetic bioethics"? Science 2008;321(5895):1449.

358 Álvarez-Díaz JA. The death of neuroethics (as we once knew it). Neurosciences and History 2014;2(1);26-33. Álvarez-Díaz JA. Neuroética: una introducción. Valenciana 2015;15:157-187

de estudio inexistente), los posibles desarrollos teóricos respecto a la fundamentación de estas disciplinas, su necesidad, etcétera.

3.2.3.2. Intentos de fundamentación de la nanoética

Hay quien defiende que la nanoética es una disciplina como tal[359], y otros que piensan que no es necesaria[360]. La nanoética cuenta con una revista homónima[361] en cuyo primer editorial se dice que «casi todo sobre la nanoética está en disputa»[362], pero se hace la apuesta por la publicación, ya que «existe un consenso suficiente sobre lo que constituye la nanotecnología (o nanotecnologías) para el examen de las cuestiones éticas». Considerando que la nanoética puede ser una ética aplicada, se pasa del uso de un neologismo al intento de la fundamentación de una disciplina. Esto es así porque a partir de lo comentado respecto a la definición de "nanotecnología" se dijo que más que una tecnología específica, se trataba de una plataforma tecnocientífica. La realidad es compleja, y las interacciones son cada vez mayores entre disciplinas, así que dibujar con nitidez los lindes de la nanotecnología

---

359 Allhoff F, Lin P. What's so special about nanotechnology and nanoethics? International Journal of Applied Philosophy 2006:20(2):179-190. Allhoff F. On the autonomy and justification of nanoethics. Nanoethics 2007;1(3):185-210.

360 Holm S. Does nanotechnology require a new "nanoethics"? London: Cardiff Centre for Ethics, Law & Society; 2005. Litton P. "Nanoethics"? What's new? Hastings Center Report 2007;37(1):22-25. Brownsword R. Nanoethics: Old wine, new bottles? Journal of Consumer Policy 2009;32(4):355-379. McGinn RE. What's different, ethically, about nanotechnology?: Foundational questions and answers. Nanoethics 2010;4(2):115-128.

361 *Nanoethics: Ethics for technologies that converge at the nanoscale*. El ISSN de la versión impresa es 1871-4757. Se publica por Springer Netherlands desde el año 2007. Parece que bastó casi un lustro para considerar este espacio específico de reflexión luego de la aparición del término en el año 2003.

362 Weckert J. Editorial. Nanoethics 2007;1(1):1-2.

parece que no es posible (como no sería posible hacerlo en tantas otras disciplinas científicas y tecnológicas). Sin embargo, al existir ese cierto consenso respecto de lo que es la nanotecnología y bajo la idea de que cuenta con problemas éticos que le son propios, puede hablarse del intento de una ética aplicada en torno a ese campo del saber, más que una disciplina, se trata de un campo disciplinar.

Sobre la posibilidad de una "fundamentación" puede decirse que «En términos generales, se trata de una operación racional. Sin embargo, puede entendérsela de dos modos distintos: ya sea como una suerte de construcción arquitectónica, en el sentido de establecer las bases de un sistema, o bien como una reconstrucción, es decir, como una explicitación de algo implícito o el esclarecimiento de algo oscuro. En este último caso, fundamentar es hacer visible algo que no se veía y que, sin embargo, sirve de sostén a lo que se ve. Equivale a proporcionar una respuesta a la pregunta "¿por qué?", pero una respuesta racionalmente satisfactoria, es decir, una que convierta en superflua o inadecuada cualquier insistencia con la misma pregunta»[363]. Considerando que el objeto de estudio de cada disciplina es anterior a ella misma (las formas son anteriores a la anatomía, las funciones son anteriores a la fisiología, la sociedad es anterior a la sociología, etcétera), se trata de buscar qué existe, anterior a la nanoética, que se corresponda con su objeto de estudio. Ahora sí, la propuesta sería que tal objeto de estudio es la nanotecnología[364].

---

363 Maliandi R, Thüer O, Cecchetto S. Los paradigmas de fundamentación en la ética contemporánea. Acta Bioethica 2009;15(1):11-20.

364 Habría que aclarar, desde la dimensión antropológica y cultural manejada previamente, que toda disciplina construye su objeto de estudio, pero esta construcción es sobre algún modo de ser en la realidad. Para ello, el papel del lenguaje es fundamental. Si el objeto de estudio de la nanoética es la nanotecnología, habría que proponer que los nanates son aquellas expresiones de la realidad en el mundo que permiten empezar a construir el objeto de estudio; por otra parte, los nanites serían

El problema de la fundamentación de la nanoética no es una solución matemática[365], existiendo intentos desde una serie de marcos distintos: ELSI (Ethical, Legal and Social Implications, modelo del Proyecto Genoma Humano)[366], ELSA (Ethical, Legal and Social Aspects), NE³LS (Nano-Ethical, Environmental, Economic, Legal and Social

un producto de esa construcción del objeto de estudio, ya que no existen materialmente en el mundo, pero podrían llegar a existir y eso les otorga una forma distinta de estar en el mundo.

365 Probablemente la empresa de fundamentar la ética sea imposible. Pintor Ramos dice que «[…] el problema de la fundamentación debe colocarse en un contexto más amplio y —si se me permite la expresión— menos "fundamentalista". Dicho de otra manera, en lugar de una ambiciosa "fundamentación" (Grundlegung), quizá sea preferible proponerse una más modesta "justificación" (*Begründung*)» (Pintor Ramos A. Realidad y sentido. Desde una inspiración zubiriana. Salamanca: Universidad Pontificia de Salamanca; 1993. p. 56). Al respecto Gracia dice que «La ética, de algún modo, se fundamenta a sí misma. No necesita que nadie le eche una mano. Lo que hacen los especialistas, quienes se dedican profesionalmente al estudio de la ética, no es propiamente fundamentar, sino explicar. Si tuvieran que fundamentar, la ética sería sencillamente imposible. Nadie tiene la capacidad para hacer tal cosa. En el fondo no podemos ni explicarla. La conducta moral, el hecho de que los seres humanos nos creamos obligados a hacer ciertas cosas y a evitar otras, pende sobre el misterio. Se trata de un hecho original e irreductible a cualquier otro. Es una experiencia primaria. Se tiene o no se tiene. Nada más. Esto que llamamos fundamentación de la ética es, en el mejor de los casos, un intento de explicación. […] No fundamentamos, sólo explicamos o, mejor, intentamos explicar, y ello muy imperfectamente. […] Hoy estamos convencidos de que la realidad es infinitamente más rica que todo lo que nosotros podamos pensar sobre ella» (Gracia D. Prólogo. En: Ferrer JJ, Álvarez JC. Para fundamentar la bioética. Teorías y paradigmas teóricos en la bioética contemporánea. Bilbao: Desclée de Brouwer; 2003. p. 9-14).

366 Fisher E. Lessons learned from the Ethical, Legal and Social Implications program (ELSI): Planning societal implications research for the National Nanotechnology Program. Technology in Society 2005;27(3):321-328.

issues)[367], SEIN (Social and Ethical Interactions with Nano)[368], ética de NST (Nano Sciences and Technologies)[369], ética de NEST (New & Emerging Sciences and Technology)[370], NBIC (Nanotechnology, Biotechnology, Information technology and Cognitive science, uno de los acrónimos más populares en EEUU)[371], etcétera.

El intento de una fundamentación no pone en tela de juicio la importancia de la reflexión ética sobre la nanotecnología; de hecho, parece ser que, independientemente si se está a favor o no de que exista una "nanoética" como disciplina, sí hay también un cierto consenso en que los problemas éticos que presenta la nanotecnología deben ser analizados. Incluso, existen propuestas para la búsqueda de los problemas éticos planteados por la nanotecnología[372]. El intento de buscar una fundamentación para la nanoética es ya una forma incipiente de mostrar que se trata de un nuevo campo disciplinar.

---

367 Keiper A. Nanoethics as a discipline? New Atlantis 2007;16:55-67.

368 Baird D, Vogt T. Societal and ethical interactions with nanotechnology ("SEIN") - An introduction. Nanotechnology, Law & Business 2006;1(4):391-396. Kjølberg K, Wickson F. Social and ethical interactions with nano: Mapping the early literature. Nanoethics 2007;1(2):89-104.

369 Rehmann-Sutter C, Scully JL. Which ethics for (of) the nanotechnologies? En: Kaiser M, Kurath M, Maasen S, Rehmann-Sutter C. (Ed.). Governing future technologies nanotechnology and the rise of an assessment regime. Heidelberg: Springer; 2009. p. 233-252.

370 Swierstra T, Rip A. Nano-ethics as NEST-ethics: Patterns of moral argumentation about new and emerging science and technology. Nanoethics 2007;1(1):3-20.

371 Roco M, Bainbridge W (Eds.). Converging technologies for improving human performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information technology and Cognitive science. Arlington: National Science Foundation; 2002.

372 van de Poel I. How should we do nanoethics? A network approach for discerning ethical issues in nanotechnology. Nanoethics 2007;2(1):25-38.

Se ha criticado mucho el modo especulativo de hacer ética cuando se habla de nanotecnología[373]. Si se hace ética cuando se habla de nanoética, hay que indagar si la nanoética es una ética aplicada, como se ha propuesto tanto en lengua inglesa como en lengua española. Para Maliandi[374] «el área temática de la ética aplicada es amplísima, ya que comprende las implicaciones morales de todas las situaciones concretas determinadas por la interacción social. Abarca diversas ramas, entre las cuales la bioética es la que ha alcanzado un desarrollo mayor. [...] La ética aplicada requiere un permanente diálogo, no sólo interdisciplinario, sino también, en la medida de lo posible, interideológico»[375].

Algunas reflexiones hechas en torno a la bioética podrían extrapolarse a la nanoética, en tanto la bioética se ha consolidado de algún modo como una especie de "modelo" de ética aplicada, lo cual también le ha costado. Baker[376] y McCullough[377] dicen que entender la bioética como

---

373 Nordmann A. If and then: A critique of speculative nanoethics. Nanoethics 2007;1(1):31-46. Roache R. Ethics, speculation, and values. Nanoethics 2007;2(3):317-327. Grunwald A. From speculative nanoethics to explorative philosophy of nanotechnology. Nanoethics 2010;4(2):91-101.

374 Ricardo Guillermo Maliandi (10 de enero de 1930; La Plata, Argentina - 12 de febrero de 2015; Mar del Plata, Argentina). Filósofo argentino, profesor en varias universidades argentinas e investigador del CONICET; Premio Konex en ética en 1986 y Premio Nacional de Cultura en 2012. Su trabajo estuvo centrado en la ética; su tesis doctoral en Maguncia, Alemania, versó sobre la ética material de los valores. Su propuesta persiguió integrar las éticas de Habermas y Apel, trabajando en una propuesta original que denominó "ética convergente".

375 Maliandi R. La ética cuestionada. Prolegómenos para una ética convergente. Buenos Aires: Amalgesto; 1998. p. 46.

376 Robert Baker, estadounidense, doctor en filosofía. Actualmente Director en The Union Graduate College - Mount Sinai School of Medicine Bioethics Program.

377 Laurence B. McCullough, estadounidense, doctor en filosofía; actualmente es Associate Director for Education and inaugural holder del Dalton Tomlin Chair in Medical Ethics and Health Policy en el Center for Medical Ethics and Health

ética aplicada exige que el bioeticista aplique una teoría ética para la resolución de los problemas. Esto no ha resultado fácil para la reflexión ética sobre la nanotecnología; se plantea si la nanoética es una ética *para*, *desde* o *con* la nanotecnología, y la respuesta no es unívoca, ya que se propone que habría éticas por aplicar a cada una de estas posibilidades[378].

Baker y McCullough agregan que analizando el tema desde una perspectiva histórica, los bioeticistas no han procedido aplicando una teoría ética para la resolución de problemas; lo mismo ocurriría en el caso de la nanoética. Admiten que la filosofía moral ha influenciado el desarrollo de la bioética, pero destacan que lo que han hecho los bioeticistas ha sido más "apropiación" que "aplicación"[379] de conceptos filosóficos. Del mismo modo, la filosofía moral muestra una clara influencia en el desarrollo de la nanoética.

Baker y McCullough entienden por "apropiación" el adoptar conceptos filosóficos, a la vez que adaptarlos para utilizarlos en un contexto práctico específico, separándolos y en ocasiones aislándolos del marco teórico en el cual han tenido origen.

Policy, Baylor College of Medicine, donde también es profesor de ética médica.

[378] Nurock V. Nanoethics: Ethics for, from, or with nanotechnologies? Hyle - International Journal for Philosophy of Chemistry 2010;16(1):31-42. Las preposiciones dan juego a los filósofos para este tipo de análisis, y éste es un buen ejemplo. Otro trabajo, que examina más los argumentos utilizados que las teorías éticas en relación con la fundamentación, es Ferrari A. Developments in the debate on nanoethics: Traditional approaches and the need for new kinds of analysis. Nanoethics 2010;4(1):27–52.

[379] Baker RB, McCullough LB. Medical ethics' appropriation of moral philosophy: The case of the sympathetic and the unsympathetic physician. Kennedy Institute of Ethics Journal 2007;17(1):3-22.

Beauchamp[380] hace una crítica diciendo que la definición Baker y McCullough es muy restrictiva, ya que "ética aplicada" parecería estar reducida a la metodología del "deductivismo": una teoría ética soporta preceptos normativos generales, a partir de la cual únicamente se deducen los juicios morales particulares. Beauchamp dice que una ética aplicada «se usa hoy para referirse, en términos amplios, a cualquier uso de los métodos de razonamiento para examinar críticamente decisiones morales prácticas en las profesiones, la tecnología, la salud pública y otros campos similares. El término "aplicado" se refiere habitualmente al uso de métodos filosóficos —incluyendo análisis conceptuales, equilibrio reflexivo, casuística […] y otros semejantes— para examinar críticamente problemas, prácticas y políticas que tienen una dimensión moral»[381]. Con esta forma de entender las éticas aplicadas, Beauchamp dice que la "apropiación" que proponen Baker y McCullough es una forma de ética aplicada, no su negación.

Las éticas aplicadas no son (ni pueden ser) exclusivamente deductivistas. Cortina dice que hablar sobre "ética aplicada" «despierta de inmediato la impresión de que se trata de una disciplina que funciona de modo deductivo; es decir, de una disciplina que, una vez descubiertos los principios éticos, se limita a aplicarlos a los ámbitos y los casos concretos, siguiendo el modelo de racionalidad de silogismo deductivo»[382]. Cortina señala que esto no es representativo de la forma en la cual operan las éticas aplicadas, ya que «[…] la reflexión de la ética aplicada —a pesar del nombre que ostenta— funciona más "de abajo hacia arriba" que de arriba hacia abajo, más desde la base republicana de las distintas esferas que desde la monar-

380 Tom L. Beauchamp (1939; Austin, Texas -), filósofo estadounidense, doctor en filosofía por Yale University en 1970; trabaja en el Kennedy Institute of Ethics, Universidad de Georgetown. Destacado y multicitado en bioética por su obra con Childress *Principios de Ética Biomédica*. Experto en el pensamiento de David Hume.

381 Beauchamp TL. History and theory in "applied ethics". Kennedy Institute of Ethics Journal 2007;17(1):55-64.

382 Cortina A. Ética aplicada y democracia radical. Madrid: Tecnos; 1997. p. 167.

quía del saber filosófico»[383]. En ese sentido, la ética es "aplicada" dado que intenta dar respuesta de una forma fundamentada a un problema ético concreto que se plantea en la realidad humana en su contexto particular.

Con todas las reflexiones previas, puede proponerse que la nanoética efectivamente se trata de una ética aplicada[384] en tanto intenta dar una respuesta fundamentada a los problemas éticos concretos que plantea la realidad de la nanotecnología en su contexto particular[385]. El objeto

---

383 Ibídem. p. 165. Además, Cortina señala en otro texto que para diseñar la ética aplicada de una actividad, es necesario recorrer los siguientes pasos: «1) Determinar claramente el *fin específico*, el *bien interno* por el que cobra su sentido y legitimidad social. 2) Averiguar cuáles son los *medios* adecuados para producir ese bien en una sociedad moderna. 3) Indagar qué *virtudes* y *valores* es preciso incorporar para alcanzar el bien interno. 4) Descubrir cuáles son los valores de la *moral cívica* de la sociedad en la que se inscribe y qué derechos reconoce esa sociedad a las personas. 5) Averiguar qué valores de justicia exige realizar en ese ámbito el principio de la ética del discurso, principio de una *moral crítica universal*, que permite poner en cuestión normas vigentes. 6) Dejar las tomas de decisión en manos de los *afectados* que, con la ayuda de instrumentos de asesoría, ponderarán las consecuencias sirviéndose de criterios tomados de distintas tradiciones éticas» (las itálicas son del original). En: Cortina A. El estatuto de la ética aplicada. Hermenéutica crítica de las actividades humanas. Isegoría 1996;13:119-134.

384 Se podría hablar de éticas aplicadas "tradicionales" (empresarial, medioambiental) y "emergentes" (nanoética, roboética, astroética o ética del espacio). Allhoff F. What are applied ethics? Science and Engineering Ethics 2011;17(1):1-19. Moya Santoyo J. La nanoética: Un campo ético emergente. Moralia 2009;32(124):479-495.

385 En el trabajo de Nurock (*Nanoethics: Ethics for, from, or with nanotechnologies?*) se plantea que «Si "nanoética" debe entenderse como una ética *para* las nanotecnologías, entonces la dirección de ajuste es de la ética a las nanotecnologías, y en consecuencia las nanotecnologías deben ajustarse a la ética para no estar en conflicto con ella. Por otra parte, si "nanoética" significa ética *desde* las nanotecnologías, la dirección de ajuste es de las nanotecnologías a la ética, y corresponde entonces a la ética adaptarse a las nanotecnologías» (el énfasis en las preposiciones es propio). El trabajo centra el análisis en ambas direcciones: Si la ética es *para* las nanotecnologías,

de estudio de la nanoética (previo a ella misma) es la nanotecnología, con una autonomía suficiente como disciplina que permite la reflexión de la filosofía moral sobre ella.

El último punto que hay que tocar se refiere a la "razón"[386]. La racionalidad humana es necesaria para intentar fundamentar la ética, pero no puede ser el único y último referente. La racionalidad humana es mucho más débil de lo que se creyó hasta el siglo xviii. Al respecto dice Gracia que «Una de las características más destacadas de toda la filosofía del siglo xx es su medular antirracionalismo. Si en otras épocas pudo pensarse que la razón era capaz de reconstruir de un modo completo y perfecto el todo de la realidad, hoy eso se considera pura ilusión. La racionalidad humana es muy limitada, y nunca puede agotar eso que llamamos la realidad. La racionalidad científica, aun la matemática, tiene siempre algo de provisional, lo que nos impide confundirla con la realidad»[387].

---

se trataría entonces de una ética normativa (comenta la aplicación de la ética de la virtud, el consecuencialismo y el deontologismo a las nanotecnologías); si la ética es *desde* las nanotecnologías, se pregunta si las nbic proponen una metaética o si hay una ética de las nbic. Concluye que habría que optar por un equilibrio reflexivo entre las posturas de la ética *para* y *desde* las nanotecnologías. Tal vez ésta sea ya una propuesta de fundamentación de la nanoética.

386 Los trabajos de Nurock y Ferrari plantean, de diferente forma, problemas derivados de la racionalidad de la ética y de la racionalidad de la aplicación de la misma a la nanotecnología.

387 Gracia D. En torno a la fundamentación y el método de la bioética. En: Gracia D. Introducción a la bioética. Siete ensayos. Santa Fe de Bogotá: El Búho; 1991. p. 107-156 (cita de la p. 108). En este mismo texto dice más adelante: «Ya no podemos hacer, como Spinoza, *Ethica more geometrico demostrata*. Y ello aunque solo fuera porque Kurt Gödel nos demostró, hace más de medio siglo, la incompletud de los sistemas formales, y por tanto la incapacidad de la razón para establecer sistemas racionales absolutos y definitivos. La razón nunca es tan "pura" como Kant y los racionalistas supusieron» (p. 113).

La referencia a la razón es para terminar esta sección sobre el tema de la fundamentación con el trabajo de Dupuy[388]. A principios del 2004 se llevó a cabo una reunión organizada por la Comisión Europea de Salud de la Comunidad y Protección del Consumidor; un objetivo general de la reunión era evaluar riesgos de la nanotecnología[389]. En esa reunión Dupuy presentó un trabajo sobre complejidad e incertidumbre[390]; además, ha seguido trabajando el tema de la incertidumbre en nanotecnología[391]. En síntesis, considera que si el futuro no se puede predecir, entonces hay que decidir cómo será; con base en ello, enfatiza que el principio de precaución (que se trata más adelante) sería casi obsoleto, y lo que debe hacerse es una buena regulación. Hay mucho más que decir, pero la confianza que le otorga a la razón no parece acorde al mundo contemporáneo, posterior a lo que en filosofía se conoce como la "crisis de la razón". Hay muchas otras críticas que pueden hacerse: confiar más en la regulación es valerse en buena medida de mecanismos del derecho, no tanto de la ética; las regulaciones nunca serán completas dado que la realidad sigue cambiando, de modo que tendrán siempre lagunas que no estarán cubiertas; etcétera.

---

388 Jean-Pierre Dupuy (20 de febrero de 1941 -). Ingeniero y filósofo francés. Considerado uno de los principales teóricos de la ciencia cognitiva y la cibernética en Francia.

389 European Commission - Community Health and Consumer Protection. Nanotechnologies: A preliminary risk analysis on the basis of a workshop organized in Brussels on 1–2 march 2004 by the Health and Consumer Protection Directorate General of the European Commission. Disponible en URL: http://ec.europa.eu/health/ph_risk/documents/ev_20040301_en.pdf

390 Dupuy JP. Complexity and uncertainty: A prudential approach to nanotechnology. En: Ibídem. p. 71-93.

391 Dupuy JP, Grinbaum A. Living with uncertainty: Toward the ongoing normative. Assessment of Nanotechnology. Techné: Research in Philosophy and Technology 2005;8(2):4-25.

Dupuy intenta establecer una posible fundamentación destacando varios temas; para él: la ética no es prudencia ni un análisis de costo-beneficio[392], se confunde la ética de la tecnología con la ética de la técnica; se confunde la naturaleza humana con la condición humana (Dupuy piensa que la nanotecnología es una rebelión en contra de lo dado ya que se podría buscar la eliminación de la enfermedad, de la muerte, etcétera); realiza otras consideraciones, más respecto al método que a la fundamentación como tal[393]. Ha continuado con el desarrollo del tema, pensando que los temas a los cuales se han referido son escollos que deben vencerse para una fundamentación de la nanoética. Por otra parte, cree que debe profundizarse en la artificialización de la naturaleza, la consideración de los límites, el papel de la religión, la finitud de la condición humana, la relación entre conocimiento y "saber hacer", y la fundamentación de la propia ética[394].

Con todo esto se puede apreciar que la labor de una reflexión ética de lo que es la nanotecnología ha sido una labor nada fácil. Este libro busca esbozar el tratamiento de problemas éticos de la aplicación de tal tipo de tecnología en la atención a la salud, así que parece ser que lo más adecuado sería la búsqueda de un marco ético para ello. Si la atención a la salud se ha revolucionado en las últimas cuatro décadas desde el surgimiento de la bioética, es preciso realizar algún tipo de conexión entre la nanotecnología y la bioética, para así poder proceder.

---

392 Dupuy JP. Les défis éthiques des nanotechnologies. Les Cahiers du M.U.R.S. 2006;47:53-67.

393 Dupuy JP. The philosophical foundations of nanoethics. Arguments for a method. Paper presented at the NanoEthics Conference, University of South Carolina, Columbia, SC, March 2-5, 2005. Disponible en URL: http://portal.unesco.org/ci/en/files/20001/11272942921Dupuy1.pdf/Dupuy1.pdf

394 Dupuy JP. Some pitfalls in the philosophical foundations of nanoethics. Journal of Medicine and Philosophy 2007;32(3):237-261.

4. A propósito de la bioética

Relacionar nanotecnología y bioética[395] es tarea harto compleja, por varias razones. Primera, saber qué se puede estar entendiendo por "bioética"; segunda, aclarar si los problemas nanotecnológicos pueden ubicarse en alguna de las divisiones que pueden hacerse de la bioética; tercera, aclarar con cuál fundamentación de la bioética se está trabajando.

4.1. La definición de "bioética"

La definición de "bioética" no es un consenso, lo cual ha permitido cierta heterogeneidad en los planteamientos, que van en un amplio rango: desde atomizarla a sinónimo contemporáneo de la ética médica, hasta suponer que toda ética sería bioética. La revista *Selecciones de Bioética*, editada por el Instituto de Bioética de la Pontificia Universidad Javeriana de Colombia, dedica el número 1 bajo el título de "¿Qué es bioética?", a tratar la cuestión.

Al analizar la historia de la bioética se pueden dar las definiciones de lo que entendió por ese campo Fritz Jahr en 1927, o van Ress-

395 No se realizan aquí las mismas consideraciones que se han hecho sobre la nanoética (origen del término y fundamentación de la disciplina, con cierta profundidad y de manera relativamente extensa) por varias razones. La primera es que la bioética, con cuatro décadas de evolución, cuenta con investigaciones y publicaciones que son ya un referente respecto a estos temas. La segunda es que hasta la fecha la nanoética no cuenta con una investigación y/o publicación que trate sobre su origen, historia y fundamentación, probablemente por estar en pleno desarrollo. Sin embargo, al escribir este libro se tuvo la idea de que los contenidos mínimos para la comprensión del texto estuviesen en el texto, aclarados y ampliados en las notas al pie, de modo que quien lo desee puede tener parte de una ruta para su propia búsqueda. Por ello se expresan algunas cuestiones sobre la bioética, para no darlas por sabidas por quien lea el texto.

enlaer Potter en 1970, y continuar con una toda una colección según distintos autores. En lengua inglesa es famosa la *Encyclopedia of Bioethics*, editada por Warren T. Reich (un texto casi canónico, ya que tiene la definición que probablemente sea la más citada), en cuya primera edición de 1978 puede leerse que la bioética sería «el estudio sistemático de la conducta humana en el área de las ciencias de la vida y la atención de la salud, en tanto que dicha conducta es examinada a la luz de los principios y valores morales». En la segunda edición, de 1996, se modifica diciendo que bioética es «el estudio sistemático de las dimensiones morales -incluida la visión moral, las decisiones, la conducta, las líneas de acción, etcétera- de las ciencias de la vida y los cuidados sanitarios con el empleo de una variedad de metodologías éticas y en un planteamiento interdisciplinar». Hay un cambio importante con el cambio en la definición, ya que de estudiar "la conducta humana" pasa al análisis de "las dimensiones morales de las ciencias de la vida".

La primera vez que un organismo supranacional da una definición de bioética también es el lengua inglesa, en 1992, cuando se conforma la International Association of Bioethics, en cuya constitución (revisada en 2006) define la bioética como «el estudio de los aspectos éticos, sociales, legales, filosóficos o de otro tipo relacionados con el ámbito de la salud y las ciencias biológicas».

En ese 1992 la palabra entra al DRAE, diciendo que se trata de la «Disciplina científica que estudia los aspectos éticos de la medicina y la biología en general, así como de las relaciones del hombre con los restantes seres vivos». La última edición la define como el «Estudio de los problemas éticos originados por la investigación biológica y sus aplicaciones, como en la ingeniería genética o la clonación».

Para Diego Gracia, «La bioética es un proceso de deliberación individual y colectiva, en orden a buscar el perfeccionamiento de la

vida humana, tanto individual como sobre todo colectiva[396]». Ya se ha citado a este autor, reconocido internacionalmente por sus aportes en el campo de la bioética, donde destaca el tema de la deliberación como proceso y como procedimiento; más adelante quedará más claro este planteamiento.

4.2. Los niveles de la bioética

Por otra parte, al momento actual, con el grado de desarrollo que ha tenido la bioética y la enorme cantidad de temas que maneja, es absolutamente necesario hacer algún tipo de división, dado que pasar de tratar temas como el consentimiento informado, la objeción de conciencia, las directrices previas (o voluntades anticipadas), a otros tales como las obligaciones morales para con los animales y el medio ambiente, parece haber un abismo si no se comprende la unidad de la bioética en tanto que trata con las ciencias de la vida. Así las cosas, lo que actualmente puede proponerse razonablemente para que la bioética trate temas que parecen tan lejanos entre sí, pero que en el fondo están estrechamente vinculados, es dividir la bioética en tres niveles. Los tres autores fundamentales que se retoman para organizar y ampliar esta propuesta son el argentino José Alberto Mainetti[397] y

396 Gracia Guillén D. Democracia y bioética. Acta Bioethica 2001;7(2):343-354.

397 Mainetti JA. Bioética sistemática. La Plata: Quirón; 1991. «La microbioética corresponde a la ética médica stricto sensu, es decir, la responsabilidad profesional y de la atención de la salud; comprende esencialmente los aspectos morales de la relación terapéutica -veracidad, confidencialidad, consentimiento- en el contexto deontológico de derechos y deberes entre médico y paciente, y la eticidad en la atención de la salud, como el derecho a la misma y las políticas de macro y microasignación de recursos. La macrobioética se confunde con la ética planetaria, vale decir, la problemática ambiental, poblacional, nuclear estratégica y de los límites morales de la investigación

los españoles Diego Gracia[398] y Adela Cortina[399]. De acuerdo con sus propuestas, la bioética contemporánea se divide en una microbioética, una mesobioética y una macrobioética.

El nivel de la microbioética tiene que ver con la toma de decisiones en torno al propio cuerpo, es decir, lo que también se ha llamado como bioética clínica. La década de los años 70's tuvo un énfasis especial en este nivel, tanto en los procesos deliberativos como en las construcciones teóricas que surgen; a modo de ejemplo, baste recordar el emblemático informe Belmont y la consecuente propuesta principialista de Beauchamp y Childress. A tal grado es así, que también se ha considerado un origen dual de la bioética en una rama biomédica y en otra

científico-tecnológica. La mesobioética abarca todas las intervenciones biomédicas sobre la vida humana individual, desde el nacimiento a la muerte (y hoy más allá de estos eventos) en un orden lexicográfico por armar, o alfabeto de temas a (genética, contracepción, reproducción asistida, aborto), temas b (experimentación humana, trasplantes, control de la conducta), temas w (la muerte y el morir), etcétera».

398 Gracia D. De la bioética clínica a la bioética global: Treinta años de evolución. Acta Bioethica 2002;8(1):27-39. «Esa deliberación tuvo por objeto en la década de los años setenta el nivel que podemos denominar "micro", el de la toma de decisiones en torno al propio cuerpo. En la década de los setenta subió un peldaño y se situó en el nivel "meso", el de las decisiones institucionales y estructurales. Y en los años noventa ha ampliado aún más sus horizontes, abarcando también el nivel "macro", el propio de la ética global. Son tres estratos de un mismo proceso, el proceso deliberativo: el estrato personal, el institucional y el global»

399 Cortina A. Neuroética y neuropolítica. Sugerencias para la educación moral. Madrid: Tecnos; 2011. «a comienzos del siglo xxi la bioética parece estructurarse en tres niveles, estrechamente vinculados entre sí: 1) *Macrobioética*, que debería contemplar cuatro lados al menos, es decir, la ecoética o ética ecológica, cuestiones de justicia global, las relaciones entre bioética y biopolítica, y la posibilidad de construir una bioética cívica mundial. 2) *Mesobioética*, que se ocuparía de los sistemas nacionales de salud, a los que ha atendido la ética de la economía de la salud, la ética de las organizaciones sanitarias y la bioética cívica. 3) *Microbioética*, referida a la bioética clínica, y a la genética o ética de las biotecnologías». (Las cursivas son del original)

medioambiental. Un problema es caer en el error, muy frecuente todavía, de pensar que solamente este nivel es el propio de la bioética[400].

El nivel de la mesobioética se ubica en la toma de decisiones institucionales y estructurales. La década de los 80's desarrolla el ascenso a este nuevo peldaño, donde pueden ubicarse temas tales como los relacionados con la ética de las organizaciones sanitarias[401], las políticas públicas en salud[402], la ética de los sistemas de salud[403], la ética de la economía de la salud, etcétera. Con estos temas es evidente que el

---

400 López S, Tetelboin C. Más allá de la bioética: hacia una ética de la salud. En: OPS, UNAM, UAM-X, IPN. ¿Hacia dónde va la salud de los mexicanos? Derecho a la protección de la salud, políticas de salud y propuestas para la acción. México: OPS/UNAM/UAEM-X/IPN, 2006. p. 225-232. Estos autores son un ejemplo de quienes entienden que "bioética" es sinónimo de algún modo de "ética clínica", y por ello proponen que una "ética de la salud" englobaría a la bioética.

401 Simón P. La ética de las organizaciones sanitarias: el segundo estadio de desarrollo de la bioética. Revista de Calidad Asistencial 2002;17(4):247-259.

402 Emanuel E. Medical ethics in the era of managed care: the need for institutional structures instead of principles for individual cases. Journal of Clinical Ethics 1995;6(4):335-338. En este artículo puede leerse que «La ética médica debe dejar de estar orientada a los casos clínicos para orientarse institucionalmente. Nosotros, los bioeticistas, debemos dejar de aproximarnos a los problemas desde una perspectiva filosófica y adoptar la perspectiva de la ciencia política».

403 Parece ser que OPS no distingue entre los niveles micro y meso, ya que cuando se cuestiona «¿Qué es la ética de la salud?» responde diciendo que «La ética de la salud es el campo interdisciplinario de estudio y práctica que busca específicamente entender los valores que ciñen las decisiones y acciones en el cuidado de la salud, la investigación en salud y la política sanitaria, y proporcionar orientación para la acción cuando estos valores entren en conflicto. Se distingue de la ética médica, más reducida, que se ocupa de las cuestiones éticas que surgen en el contexto clínico relacionado con el cuidado de pacientes específicos, así como la bioética, más extensa, que se refiere a las cuestiones éticas que surgen de la creación y el mantenimiento de la salud de todos los seres vivos». Global Network of WHO Collaborating Centres for Bioethics. Global Health Ethics. Key issues. Luxembourg: World Health Organization; 2015. p. 10.

enfoque principialista que tuvo la bioética prevaleció en este década, pero no dio para más. En la siguiente década empezarán y se desarrollarán tantas críticas, que quedará claro que la propuesta principialista (la de Beauchamp y Childress o cualquier otro grupo de principios que se propongan o adopten como únicos) será siempre insuficiente, tanto como propuesta de fundamentación como en la aplicación a casos concretos. Es verdad que toda ética considera principios, pero no pueden tomarse en un abanico y pensar que van a poder resolverse todos los problemas que presenta la realidad.

El nivel de la macrobioética abarca el nivel propio de una bioética global, donde debe considerarse la ecoética o ética ecológica (donde la mayoría de los autores se detiene, tal vez porque las propuestas de Jahr y Potter se dirigían directamente a temas medioambientales), cuestiones de justicia global (con problemas tales como el turismo de salud, el turismo médico, etcétera), las relaciones entre bioética y biopolítica[404], etcétera.

[404] Todos estos temas se encuentran en plena construcción y desarrollo; a modo de ejemplo, aquí se citan relaciones entre "bioética y biopolítica", reconociéndoles como dos campos distintos que deberían entrar en diálogo, y no planteándolos como una disyuntiva donde haya que decantarse por alguno de los dos (Graumann S. Bioethics or biopolitics? On the relationship between academic and public discussion of the "selection" and "manipulation" of human life. Biomedical Ethics 2000;5(3):120-124), pensado que un campo puede tomarse como sinónimo del otro (Bishop JP, Jotterand F. Bioethics as biopolitics. Journal of Medicine and Philosophy 2006;31(3):205-212), o suponiendo que a partir de uno se va a llegar al otro, ya sea de la bipolítica a la bioética (McDonnell O, Allison J. From biopolitics to bioethics: church, state, medicine and assisted reproductive technology in Ireland. Sociology of Health & Illness 2006;28(6):817-837) o de la bioética a la biopolítica (Garzón FA. De la bioética, a la biopolítica y al bioderecho. Revista Latinoamericana de Bioética 2007;7(12):6-9). Falta mucho por trabajar, pero tal vez una de las formas más adecuadas de hacerlo sea reconociendo la especificidad de cada saber.

Adela Cortina considera que los tres niveles están "estrechamente vinculados entre sí". Diego Gracia considera que esa vinculación se da porque estos tres estratos pertenecen al mismo proceso de deliberación en los niveles personal, institucional y global. Gracia considera que los tres niveles se encuentran articulados entre sí internamente, por lo que el primero conduce al segundo, el segundo al tercero y a la inversa es lo mismo.

En la figura 1 puede apreciarse cómo los tres niveles de la bioética pueden relacionarse con los dos niveles de la ética propuestos por Adela Cortina (una ética mínima y varias éticas de máximos); así las cosas, la microbioética tendrá aspectos relacionados con la ética mínima y con las éticas de máximos, y lo mismo ocurre con la mesobioética y la macrobioética.

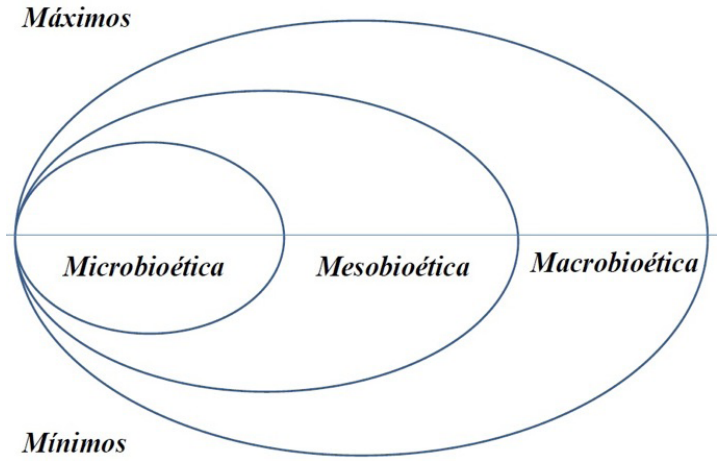


Figura 1. Propuesta de relación entre la ética mínima y las éticas de máximos con los tres niveles de la bioética. Fuente: elaboración propia.

4.3. La fundamentación de la bioética y la nanotecnología

Después del surgimiento de la bioética se han realizado varios intentos de fundamentación. Luego de la propuesta de la corriente hegemónica del principialismo (o principlismo), se han suscitado múltiples críticas (incluyendo actualmente las que van a consideraciones sobre bioderecho y que proponen que los famosos cuatro principios no son suficientes para fundamentar una legislación[405]) y otras propuestas distintas[406]. Se ha sugerido que los problemas de la nanomedicina pueden manejarse con el principialismo[407], con la ética narrativa[408], etcétera. En este libro se busca llegar a un marco ético que permita realizar un análisis riguroso de los problemas planteados por la aplicación de la nanotecnología en la atención a la salud.

¿Dónde incluir los problemas éticos de que plantea la nanotecnología? Hay quien considera que la bioética no es suficiente para ello, ya que «no es del todo claro que el conjunto estándar de principios y normas en materia de bioética ayudará en un análisis y evaluación éti-

405 Rubin CT. Postmodernism, autonomy and bioethical boundaries. Good Society Journal 2010;19(1):28-32. Demissie HT. Is beneficent regulation the new better regulation? Nano-regulation in the wake of the 'new better regulation' movement. Law, Innovation & Technology 2010;2(1):115-149.

406 Existen revisiones donde se exponen fundamentaciones diversas de la bioética. En lengua española puede verse Ferrer JJ, Álvarez JC. Para fundamentar la bioética. Op. Cit.

407 Ebbesen M, Jensen TG. Nanomedicine: Techniques, potentials, and ethical implications. Journal of Biomedicine and Biotechnology 2006;2006(5):51516. doi:10.1155/JBB/2006/51516 Meetoo D. Nanotechnology: Is there a need for ethical principles? British Journal of Nursing 2009;18(20):1264-1268.

408 O'Manthúna DP. Nanoethics. Big ethical issues with small technology. London: Continuum; 2009. Todo el libro tiene esta orientación, pero la clarifica particularmente en el capítulo 3, *Ethics and nanotechnology: What's the story?*

ca completa de las nanotecnologías»[409]. Probablemente este autor sea de quienes consideran que la bioética se refiere a problemas de ética médica, ya que el ejemplo que desarrolla es el análisis y la evaluación del impacto de las nanotecnologías en la integridad ecológica global bajo condiciones de incertidumbre. Errado, o cuando menos limitado, ya que la macrobioética tendría mucho que decir.

Como es de esperarse, también hay quien considera lo contrario, que los problemas generados por la nanotecnología podrían ser asumidos por la bioética: «Más que de una reflexión ética distinta, la convergencia y la amplitud de proyectos, las propiedades potenciales de materiales y productos, la variabilidad de aplicaciones en contextos clínicos y ambientales múltiples, genera impactos de riesgo y conflictos de justicia distributiva difíciles de dilucidar precisamente porque no son nano sino de magnitud bioética. Por lo tanto, el enfoque ha de situarse en la especificidad de los problemas y conflictos que define la bioética pero identificados y analizados en un marco transversal»[410].

Si, como se ha dicho previamente, la nanoética cuenta con problemas específicos del área, no se trata de proponer que la nanoética sea sustituida o subsumida sin más por la bioética, como tampoco pueden dejarse de lado las reflexiones y aplicaciones diversas de la bioética en sus cuatro décadas y media de desarrollo. Probablemente habría que sugerir otra dimensión para el análisis de problemas bioé-

409 Meaney ME. Lessons from the sustainability movement: Toward an integrative decision-making framework for nanotechnology. Journal of Law, Medicine and Ethics 2006;34(4):682-688.

410 Buxó MJ, Casado M (Coords.). Nanotecnología y bioética global. Barcelona: Observatori de Bioètica i Dret; 2010. En este documento el Observatorio de Bioética y Derecho propone aplicar varios criterios (responsabilidad, seguridad, transparencia, colaboración y participación) sobre un grupo de áreas de acción (centros de investigación, poderes públicos, industria, medios de comunicación y sociedad civil).

ticos que plantea el uso de la nanotecnología, y plantear dentro de los niveles "macro", "meso" y "micro", un enfoque "nano". Se habla de un "enfoque" y no de otro "nivel", ya que la nanotecnología interacciona con los tres niveles de la bioética y presenta problemas distintos en cada nivel. Este enfoque podría ser el de una nanobioética.

4.4. Ética de la nanobiotecnología: Nanobioética

Al hablar de la posible relación de lo biológico con la nanotecnología se dejaron aclarados dos términos: el de bionanotecnología y el de nanobiotecnología. Si hay diferencias conceptuales en cuanto a sus aplicaciones, entonces también las hay respecto de las consideraciones éticas.

Así, la primera consideración. Si la bionanotecnología corresponde a la aplicación del conocimiento biológico para el logro de los objetivos de la nanotecnología, pudiendo éstos no siempre corresponder a una aplicación en la biología, se puede hablar de una "bionanoética"[411]. Esta primera distinción es importante porque las consideraciones éticas siempre serán relevantes en la aplicación de la tecnología, aunque la consecución de sus objetivos no tenga relación directa con aspectos biológicos.

La segunda consideración es sobre la nanobiotecnología. Siendo ésta la aplicación de la nanotecnología para el logro de objetivos de la biotecnología, al final sus aplicaciones tienen relación directa con la biología. La ética, desde luego, también es importante en este campo, proponiendo entonces una "nanobioética"[412], la cual correspondería a

411 Jotterand F. Beyond feasibility: Why ethics is important for bionanotechnology. En: Jotterand F. Emerging conceptual, ethical and policy issues in bionanotechnology. Op. Cit. p. 3-10.

412 Ach JS, Siep L. (Eds.) Nano-Bio-Ethics. Ethical dimensions of nanobiotechnology (Munsteraner Bioethik-Studien; Volume 6). Berlin: LIT Verlag; 2007.

las consideraciones éticas de la aplicación nanotecnológica sobre la biología (como podría ser, por ejemplo, el medio ambiente[413], la biología sintética[414], etcétera). Es fácil darse cuenta que este tipo de aplicaciones abarcaría muchos campos; una propuesta delimita cinco como los más importantes[415]: mejora humana, biología sintética, nanomedicina, nanotecnología agroalimentaria, y pruebas en animales. Más adelante se realiza alguna crítica respecto a estos temas (en especial el de la mejora humana).

Al año siguiente de la publicación de este libro aparece un artículo en español que utiliza la palabra "nanobioética", sin hacer referencia al texto anterior; la definición que aporta ese artículo sobre "nanobioética" es del autor, vaga y confusa. Márquez DJE. Nanobioética, nanobiopolítica y nanotecnología. Salud Uninorte. Barranquilla (Colombia) 2008;24(1):140-157.

413 Scott NR. Nanotechnology and animal health. Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics) 2005;24(1):425-432. ETC Group. Down on the farm: The impact of nano-scale technologies on food and agriculture. 2004; disponible en URL: http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/publication/80/02/etc_dotfarm2004.pdf Versión en español en Grupo ETC. La invasión invisible del campo. El impacto de las tecnologías nanoscópicas en la alimentación y la agricultura. 2004; disponible en URL: http://www.etcgroup.org/upload/publication/82/02/invasin_campo.pdf

414 Morange M. A critical perspective on synthetic biology. Hyle - International Journal for Philosophy of Chemistry 2009;15(1):21-30. ETC Group. The New Biomassters - Synthetic biology and the next assault on biodiversity and livelihoods. 2010; disponible en URL: http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/biomassters_27feb2011.pdf Versión en español en Grupo ETC. Los nuevos amos de la biomasa. Biología sintética y el próximo asalto a la biodiversidad. 2010; disponible en URL: http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/biomassters_ESP_4WEB7jun11_0.pdf

415 Malsch I, Hvidtfelt-Nielsen K. Nanobioethics. ObservatoryNano 2nd Annual Report on Ethical and Societal Aspects of Nanotechnology. 21 April 2010. (El texto inicia diciendo: «En las áreas de nanobioética y nanobiotecnología y sociedad, los debates científicos, públicos, filosóficos y sociales circulan en torno a cinco temas: […]».)

5. Nanobioética en nanomedicina

5.1. Identificación de problemas éticos

La Comisión de las Comunidades Europeas ha dicho que «La nanotecnología se ha de desarrollar de forma segura y responsable. Su avance deberá respetar principios éticos y será preciso estudiar científicamente sus riesgos potenciales para la salud, la seguridad y el medio ambiente con el fin de prever la normativa necesaria. Habrá que evaluar y tener en cuenta el impacto a nivel social. Será fundamental mantener un diálogo público con todas las partes afectadas que permita centrarse en temas reales de interés y no derivar hacia planteamientos de "ciencia ficción"»[416]. Hay que hacer varias consideraciones para poder bosquejar problemas que no correspondan a la "ciencia ficción".

En el mismo documento, la Comisión de las Comunidades Europeas habla de la integración de la dimensión social, y trata el tema del desarrollo responsable de la nanotecnología. Dice que «Deben respetarse los principios éticos y, en caso necesario, aplicarse mediante la reglamentación correspondiente. Estos principios se recogen en la Carta Europea de los Derechos Fundamentales y otros documentos europeos e internacionales. También debería tenerse en cuenta el dictamen del Grupo Europeo de Ética (EGE), que está examinando los aspectos éticos de las aplicaciones médicas de las nanotecnologías. Entre los valores éticos fundamentales figuran: el respeto de la dignidad, el principio de la autonomía del individuo, el principio de justicia y de beneficencia, el principio de libertad de investigación y el principio de proporcionalidad. Es necesario comprender la importancia de tales principios para las aplicaciones humanas y no humanas de las nanotecnologías. Además, algunas

416 Comisión de las Comunidades Europeas. Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías. Op. Cit. p. 3.

aplicaciones, como por ejemplo los sensores miniaturizados, pueden tener implicaciones específicas para la protección de la privacidad y de los datos personales»[417].

En un documento posterior se sigue enfatizando en el respeto de los principios éticos, y se anuncia formalmente la solicitud al Grupo Europeo de Ética en Ciencia y Nuevas Tecnologías que realice un análisis ético de la nanomedicina[418].

En el documento general de la Plataforma de Tecnología Europea en Nanomedicina se dice que «La nanotecnología ofrece una gran promesa para la medicina, pero gran parte de esto radica en el futuro. Esta orientación hacia el futuro ha hecho vulnerables a las nanotecnologías, en el espíritu de la época actual, a sobre-reclamar a la ciencia, ya sea el beneficio o el daño potencial. Es necesario tener cuidado con otorgar peso prematuramente en esperanzas especulativas o inquietudes planteadas acerca de las nanotecnologías por delante de la evidencia. Estudios prospectivos de tecnologías vanguardistas son evidentemente difíciles, y conllevan el riesgo de que la participación pública temprana puede promover ya sea la garantía o el pánico entre el público sobre los temas equivocados»[419]. Consideran que es necesario un análisis ético para la nanomedicina, basado en el principio de la dignidad humana y los principios éticos derivados de: la no instrumentalización, la privacidad, la no discriminación, el consentimiento informado, la equidad, y el principio de precaución. Así mismo, enfatizan que el análisis ético también debería examinar conflictos de valores. Sobre este punto se regresará

417 Ibídem. p. 22.

418 Comisión de las Comunidades Europeas. Nanociencias y nanotecnologías: Un plan de acción para Europa 2005-2009. Bruselas: Comisión de las Comunidades Europeas; 2005.

419 European Commission. European Technology Platform on NanoMedicine – Nanotechnology for Health. Vision paper. Op. Cit. p. 34.

más adelante, ya que un problema ético puede definirse como un conflicto de valores[420].

Un segundo documento propone una agenda estratégica para el desarrollo de la nanomedicina, y dice que «Independientemente de la cuestión de si emergen nuevas cuestiones normativas o si los aspectos conocidos tienen que ser adaptados, es necesario un análisis ético de las nuevas aplicaciones nanomédicas»[421]. Además del efecto en los aspectos éticos, este documento plantea que la nanomedicina tendrá un gran impacto en aspectos sociales, tales como: reducción de los gastos en cuidado sanitario (mediante diagnósticos más tempranos y tratamientos mejorados), incremento del costo de los sistemas de seguridad social (debido al aumento de la esperanza de vida de la población), acceso inequitativo a la nanomedicina (nacional e internacionalmente), un desplazamiento en la responsabilidad que tiene el médico hacia el paciente (debido al auto-manejo), y el impacto en los sistemas de cuidado sanitario con un desplazamiento de los actuales tratamientos agudos en hospitales centrales, a un futuro diagnóstico temprano por médicos generales.

El capítulo cuatro del análisis del Grupo Europeo de Ética en Ciencia y Nuevas Tecnologías[422] es dedicado al tema de "Ética, control y políticas: Problemas y preocupaciones". Organizan los temas en tres grandes grupos: toxicología y salud humana (considerando la

---

420 Existen otros lenguajes, además del valor/antivalor, como serían virtud/vicio, derecho/deber, principios, etcétera. Se toma el ejemplo de los conflictos de valores porque es probablemente el lenguaje más adecuado, como se expone más adelante.

421 European Commission. European Technology Platform on NanoMedicine – Nanotechnology for Health. Strategic Research Agenda. Op. Cit. p. 24.

422 The European Group on Ethics in Science and New Technologies to the European Commission. Opinion on the ethical aspects of nanomedicine –Opinion N° 21–. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2006.

seguridad, el control de riesgos, y el principio de precaución), preguntas bioéticas (incluyendo la protección de los individuos, el consentimiento informado, la complejidad diagnóstica y el incremento en la responsabilidad personal, el uso por terceras partes, usos médicos y no médicos –como el caso de la mejora humana– y el acceso desde una perspectiva individual), y ética social, el más amplio. Dentro de la ética social consideran aspectos económicos, debates sociales (considerando el pluralismo y el diálogo social), aspectos institucionales/políticos (el individuo y el Estado, preguntas institucionales y reguladoras, derechos de propiedad intelectual), políticas de investigación (investigación clínica relacionada a aplicaciones nanomédicas, programas FP6 y FP7, y uso e investigación militar), preguntas sobre la justicia, y preguntas antropológicas como la modificación de la condición humana.

De esta manera, es fundamental identificar problemas éticos para hacer un análisis adecuado de cada uno de ellos. Sin embargo, también hay que tener cuidado de no plantear pseudo-problemas, o problemas que no son tales. A ello se dedica la siguiente sección, antes de abordar problemática ética en nanomedicina.

5.2. Problemas éticos que no son tales

Es menester hacer una integración de varios conceptos de secciones previas para poder identificar problemas de la nanomedicina que pueda abordar la nanobioética mediante dos consideraciones básicas.

Primero, existe una nanotecnología común asociada con los nanates (nanomateriales, o aplicaciones pasivas de la nanotecnología, de elaboración relativamente sencilla, que ya se encuentran en el mercado); son dispositivos actuales producto de innovaciones sostenidas (discontinuas o transformacionales, y continuas o evolutivas), cuyas regulaciones y políticas públicas tienen antecedentes normativos e institucionales.

Segundo, existe una nanotecnología futurista asociada con los nanites (nanomáquinas o aplicaciones activas de la nanotecnología, de elaboración complicada, que aún no se encuentran comercializadas); son dispositivos hipotéticos que serían producto de innovaciones disruptivas, por lo que no cuentan con precedentes históricos respecto a sus posibles políticas públicas y regulaciones.

Puede decirse que los problemas éticos asociados a la nanotecnología común son los que tienen mayor urgencia por ser tratados, en tanto que la realidad demanda una respuesta en el momento actual. Los problemas éticos que surgen de la nanotecnología futurista tienen una categoría distinta; no es que no sean importantes, es que su manejo no es urgente, y la atención hacia ellos deriva tiempo y recursos en tratar problemas que emanan de situaciones que no es seguro que ocurran.

La unesco, al manejar el tema de la ética y la política de la nanotecnología, habla de «Desviaciones del debate – Cuestiones éticas que no son tales»[423], y al respecto dice que «Se ha prestado recientemente una gran atención a dos aspectos del debate sobre las repercusiones y los riesgos de las nanotecnologías en el plano ético y social: el escenario de la llamada "gelatina gris" y las preocupaciones acerca del "posthumanismo"». La "gelatina gris" (concepto traducido previamente en este trabajo como "plaga gris") es un escenario de la nanotecnología futurista plenamente hipotético, dado que «Hoy en día, no hay ningún objeto nanotecnológico que sea capaz de auto-reproducirse […] algunos filósofos, especialistas en ética y científicos suelen hablar como si esos objetos ya existieran o estuviesen a punto de existir». Desde luego, no es posible realizar el mismo tipo de consideraciones éticas sobre lo que ya existe, que las reflexiones sobre aquello que posiblemente puede existir. Por ello, continúa el documento, «se desvía la atención de las prácticas actuales de la ciencia y la tecnología, así como de la

423 unesco. Ética y política de la nanotecnología. Op. Cit. p. 23-24.

necesidad de ejercer un control cuidadoso y entablar un debate que trate de los problemas y prácticas vigentes, y no de escenarios futuros de carácter imaginario». Otro ejemplo de problema nanobioético que no es tal (no mencionado por UNESCO), es considerar si puede llegar a reconocerse que los robots fuesen titulares de derechos[424] (suponiendo la existencia de robots androides con una inteligencia artificial similar a la humana).

El segundo tema que sí considera UNESCO es el del posthumanismo, del cual dice: «La cuestión del "posthumanismo" desvía el debate de forma análoga. En este caso, la discusión gira en torno a las distintas utilizaciones de las nanotecnologías para mejorar, corregir, sustituir o desarrollar las características del ser humano». Sobre este tema han corrido ríos de tinta[425], planteándose situaciones hipotéticas que colindan casi con el absurdo. Por ejemplo, quienes consideran deseable la mejora humana han llegado a proponer que se realice una "mejora moral" del ser humano[426], y que de encontrar un genotipo predisponente a un mejor comportamiento moral (lo cual ya es suponer demasiado a raíz del estudio de la genética de conductas complejas, como la conducta moral), existiría un deber moral de seleccionarlo[427]. A pesar

---

424 Singer P, Sagan A. Rights for robots? Project Syndicate. Disponible en URL: http://www.project-syndicate.org/commentary/psinger57/English (Creada el 14 de diciembre de 2009). Guo S, Zhang G. Robot rights. Science 2009;323(5916):876. Coeckelbergh M. Robot rights? Towards a social-relational justification of moral consideration. Ethics and Information Technology 2010;12(3):209-221.

425 Un texto que relaciona explícitamente nanomedicina con mejora humana en Gordijn B, Chadwick R. (Eds.) Medical enhancement and posthumanity. London: Springer; 2008.

426 Douglas T. Moral enhancement. Journal of Applied Philosophy 2008;25(3):228-245.

427 Faust HS. Should we select for genetic moral enhancement? A thought experiment using the MoralKinder (MK+) haplotype. Theoretical Medicine and Bioethics 2008;29(6):397-416.

de lo reduccionista y desatinado, hay proyectos que desean llevar a cabo este tipo de planteamientos[428]. Un segundo ejemplo de problema nanobioético que no es tal al momento actual, tampoco planteado por la UNESCO, es la posibilidad de extender la vida humana hasta alcanzar la inmortalidad[429].

Por todo lo anterior, la UNESCO destaca que «Si se lograra convencer a los encargados de la elaboración de políticas, las personas elegidas y designadas para desempeñar cargos públicos, las organizaciones no gubernamentales y los grupos de presión de que esos dos enfoques desvían el debate de su verdadero objeto, entonces podrían todos ellos entablar una discusión seria sobre una serie de cuestiones apremiantes y nuevas formas de control en el plano de las políticas y las reglamentaciones. Entre esas cuestiones figuran las siguientes: la toxicidad, los peligros para el medio ambiente, los riesgos de contaminación, el etiquetado de productos, la sensibilización de los consumidores, la reglamentación de productos, la propiedad intelectual, la confidencialidad de la información, la fiabilidad y legitimidad de la investigación científica, el riesgo de "brecha científica y técnica" a nivel mundial y, sobre todo, la promoción de aquellos usos de las nanotecnologías que puedan contribuir a satisfacer las necesidades más apremiantes de la mayoría de las personas». Una de estas necesidades, no explicitada, es

---

428 Walker M. Enhancing genetic virtue. Politics and the Life Sciences 2009;28(2):27-47. Si bien en el plano genético esto parece un auténtico desatino, otra ética aplicada también novedosa, la neuroética, está dirigiendo la discusión en el sentido de una mejora moral por la vía de la neuromejora.

429 Sethte S. Nanotechnology and life extension. En: Allhoff F, Lin P, Moor J, Weckert J. Nanoethics. Op. Cit. p. 353-365. Freitas RA. Nanomedicine. En: Immortality Institute. The scientific conquest of death. Essays on infinite lifespans. Buenos Aires: Immortality Institute – Libros en Red; 2004. p. 77-92. Petersen A, Seear K.In Search of immortality: The political economy of anti-aging medicine. Medicine Studies 2009;1(3):267-279.

precisamente la salud; de ahí la importancia de hablar de la nanomedicina, ya que la hablar de la "atención a la salud", el escenario se vuelve mucho más amplio.

5.3. Problemas nanobioéticos específicos

Para hacer un análisis de un problema ético, lo primero, evidentemente, es identificarlo. Sin embargo, sucede que al hablar de las aplicaciones de la nanotecnología en la atención a la salud existen una serie de superposiciones de problemas éticos. Esto es, existen algunos problemas éticos que ya se habían planteado antes de la nanotecnología, su aplicación nanobiotecnológica en general, o las aplicaciones nanomédicas en particular. Ejemplos de ello pueden ser el uso inadecuado de datos confidenciales de los pacientes[430], o la toxicidad de nuevos medicamentos[431].

Además, algunos problemas éticos existentes pueden agravarse muy seriamente con la llegada de las aplicaciones nanotecnológicas en la salud, tales como la inequidad en el acceso a nuevas posibilidades (diagnósticas y terapéuticas), ya sea dentro de una misma nación o entre varias (por ejemplo, entre naciones ricas y pobres, a propósito de las disparidades económicas ya citadas previamente)[432].

---

430 Planteado por la bioética en relación con el uso inadecuado de datos genéticos por compañías aseguradoras, por patrones potenciales, etcétera.

431 Igualmente planteado por la bioética, tanto en sus vertientes de investigación farmacológica como en su utilización clínica (baste recordar temas clásicos dentro de la bioética, tales como Tuskegee, talidomida, etcétera).

432 Recordar que ya en el momento actual, sin futurismos, las posibilidades diagnósticas y terapéuticas que brinda la medicina clínica no son las mismas para los ricos y los pobres dentro del mismo país (desgraciadamente se puede encontrar un primer mundo, un segundo mundo y un tercer mundo en cada país); tampoco tie-

Por otra parte, existirían aquellos problemas que surgirían específicamente por la aplicación de la nanotecnología, como pueden ser problemas más complejos al girar varios problemas alrededor de una sola aplicación nanotecnológica. Un ejemplo podría ser la introducción y uso de nanopartículas[433].

¿Cuál es el hilo conductor de todos estos planteamientos en tanto que problemas éticos? El ser resultado de un conflicto de valores. Cuando cambian las condiciones en la realidad, se generan nuevos problemas éticos. En tanto que tales, los problemas éticos han acompañado al ser humano desde que es tal, pero desde luego no han sido los mismos para los seres humanos de la prehistoria, los clásicos, los medievales o los modernos. Pareciera un tanto reiterativo el reafirmar un problema ético como un conflicto de valores, pero no lo es, ya que una de las confusiones más frecuentes al hablar de problemas éticos es formularlos como conflictos de derechos, también en lo que se refiere a nanotecnología: derecho a saber, derechos de propiedad intelectual y patentes, derecho a la privacidad, etcétera.[434]

---

nen las mismas posibilidades de acceso las naciones ricas y las pobres. La llegada de aplicaciones nanotecnológicas no parece ser que vaya a ocurrir a costes muy bajos (por promisorio que sea en el largo plazo), así que este tipo de brechas ocurriría de forma más tajante, volviendo a temas tan clásicos como la justicia y la equidad, pero con estas novedosas posibilidades.

433 Lo más evidente de la novedad de la introducción de las nanopartículas es que nunca antes en la historia se había podido trabajar con ellas. Ahora bien, lo complejo surge por varios puntos diversos. Uno puede ser que si no se usan directamente en seres humanos (como en farmacología), podrían usarse en el medio ambiente (agricultura, etcétera), y llegar por diferentes medios al ser humano, sin poder decir qué ocurriría en estos casos. Otro aspecto es que si se utilizan como parte del arsenal terapéutico disponible, es difícil evaluar su comportamiento farmacológico (farmacocinético y farmacodinámico) por las modificaciones cuánticas de sus propiedades en la nanoescala. Con todo esto, las cuestiones de prevención y regulación se tornan más complicadas.

434 de Cózar Escalante JM. Nanotecnología, salud y bioética (Entre la esperanza

Derecho y ética no son lo mismo, eso es algo que está claro. Del mismo modo que el terreno del bioderecho no es ni puede ser el mismo que el de la bioética, no se puede resumir todo problema ético en la nanotecnología a un conflicto de derechos. No se trata de decir que los derechos no son importantes: los derechos tienen una dimensión moral innegable; sin embargo, el intento es reafirmar que no son el lenguaje propio o específico de la ética. Esto es especialmente importante en la formulación jurídica de los derechos, que en todo caso correspondería con un epifenómeno de los valores[435]. Mientras tanto, el propósito de los siguientes apartados es el realizar planteamientos generales respecto a algunos temas que generan especial interés.

5.3.1. Ensayos clínicos en nanomedicina

La atención a la salud corresponde a un campo muy amplio de acción, dentro del cual se incluye la atención médica. Atender la salud implica también atender las condiciones de vida, es decir, los llamados determinantes sociales de la salud. No se puede hablar de "salud" si no hay acceso a agua potable, un trabajo digno, un salario digno, una vivienda digna, una nutrición/alimentación de cantidad y calidad adecuadas,

y el riesgo). Gijón: Junta General del Principado de Asturias (JGPA) – Sociedad Internacional de Bioética (SIBI); 2010.

435 Este punto lo ha defendido en bioética Diego Gracia, y en el campo del derecho Juan Antonio Cruz Parcero, quien considera que el debate derecho-deber está mal planteado, dado que lo que intentan proteger los deberes y los derechos son los llamados "bienes jurídicos", que en ocasiones pueden coincidir con lo que se denomina "hecho" y en otras con lo que se denomina "valor" (bien entendido que la dicotomía "hecho/valor" es más teórica, académica o artificial que real, no hay hecho sin valor, ni valor sin hecho). Cruz Parcero JA. El lenguaje de los derechos. Ensayo para una teoría estructural de los derechos. Madrid: Trotta; 2007.

etcétera. Dado que tratar todos estos aspectos extendería inevitablemente el texto, se toma como eje de trabajo a la nanomedicina, es decir, la atención médica que emplea nanotecnología, cuyos fundamentos teóricos de algún modo quedaron esbozados previamente. Queda pendiente un análisis de las repercusiones nanotecnológicas en otros aspectos que atañen a la salud (uso de nanopartículas en el medio ambiente, etcétera).

Por otra parte, ya se dijo que un paso previo para que la práctica clínica sea tal, es la investigación. Existe una fase de investigación denominada pre-clínica y una clínica. Así, lo inmediatamente anterior a que un procedimiento diagnóstico o terapéutico sea incluido dentro de la práctica clínica cotidiana, corresponde (o debe corresponder, al menos) a su validación mediante la depurada metodología científica del ensayo clínico.

Se ha propuesto que existen siete desafíos para que la investigación nanofarmacológica alcance la clínica[436]: 1) determinar la distribución de los transportadores de nanopartículas en el cuerpo tras la administración sistémica a través de cualquier vía; 2) desarrollar técnicas de imagen para visualizar la biodistribución a través del tiempo; 3) comprender el transporte masivo a través de los límites de los compartimentos en el cuerpo; 4 y 5) identificar la necesidad de desarrollar nuevos modelos matemáticos y computacionales que contribuyan a una "tabla periódica" de las nanopartículas para la predicción de parámetros de riesgo y beneficio; 6) establecer estándares o materiales de referencia y protocolos de prueba consensuados que puedan proporcionar puntos de referencia para el desarrollo de nuevas clases de materiales; 7) realizar un conjunto de herramientas analíticas para la fabricación nanofarmacéutica, acompañado de una hoja de especifi-

436 Sanhai WR, Sakamoto JH, Canady R, Ferrari M. Seven challenges for nanomedicine. Nature Nanotechnology 2008;3(5):242-244.

caciones de las propiedades toxicológicas, de seguridad y biodistribución, obtenidas a través de métodos estandarizados y validados. Para conseguir todo esto hay que realizar ensayos clínicos.

Los dos tipos principales de productos susceptibles para empezar a ser sometidos a un ensayo clínico son pruebas diagnósticas y dispositivos de administración de medicamentos[437] (así, la terapia regenerativa parece estar un poco más lejos, aunque debería pasar por los mismos estándares). Aspectos éticos fundamentales para el desarrollo del ensayo giran en torno a los riesgos (su evaluación, minimización, manejo y comunicación mediante el proceso del consentimiento informado para investigación).

Desde luego, son menores los riesgos en ensayos clínicos de pruebas diagnósticas, pero hay que considerar también los aspectos éticos de su posterior aplicación, una vez validados. Por ejemplo, si pudiera desarrollarse con aplicaciones nanotecnológicas un chip que analizara la secuencia completa del genoma de un paciente durante una visita médica[438], ¿debería incluirse como una prueba rutinaria?, ¿quién(es) debería(n) tener acceso a este tipo de información? ¿Quién(es) no debería(n) tener tal acceso? ¿Cuáles serían los argumentos en ambos casos?

Por otra parte, si el ensayo clínico es para validar el uso de dispositivos de administración de medicamentos, también deberían realizarse consideraciones posteriores al propio desarrollo del ensayo, tales como la justicia social, acceso a la atención a la salud, etcétera.[439]

---

437 Resnik DB, Tinkle SS. Ethical issues in clinical trials involving nanomedicine. Contemporary Clinical Trials 2007;28(4):433-441.

438 Debnath M, Prasad GBKS, Bisen PS. Molecular diagnostics: Promises and possibilities. London: Springer; 2010. p. 277.

439 Resnik DB, Tinkle SS. Ethics in nanomedicine. Nanomedicine (London) 2007;2(3):345-350.

Hay que recordar que el desarrollo histórico de la bioética, sobre todo en su rama biomédica, dejó claro que hay que pedir permiso para intervenir en el cuerpo de un sujeto de investigación, mediante el proceso del consentimiento informado. Complejo, ya que el investigador debe transmitir la información necesaria y suficiente para que el sujeto libremente decida si participa o no en la investigación; si esto ya es difícil con la experiencia empírica recabada al momento, explicar cuestiones al nivel nanotecnológico muy probablemente hagan más denso el proceso (y los formularios escritos que se elaboran para dar fe del mismo).

Existen también problemas relacionados con nanotecnología futurista, que quedan fuera de esta exposición, tales como el ejemplo del implante de nanosensores para localización y control de seres humanos a distancia[440].

5.3.2. Relación clínica y consentimiento informado

Una vez que un procedimiento o un tratamiento deja la fase de investigación y pasa al uso en clínica, no es posible dejar de lado uno de los elementos cruciales para la relación clínica contemporánea: la introducción del proceso del consentimiento informado.

Hoy en día resulta evidente que la relación clínica ha cambiado desde el surgimiento de la bioética, afectando a todos los implicados en ella: «1. El enfermo, que tradicionalmente había sido considerado

[440] Hache J, Berger F. The medical, social, and economic stakes of nanobiotechnology. En: Boisseau P, Houdy P, Laman M. Nanoscience: Nanobiotechnology and nanobiology. Op. Cit. p. 1143-1161. Este tema, por ejemplo, sería una de las varias fronteras del tema de la nanobioética con la neuroética. El intento del control y/o modificacion de actividades motoras y emotivas por la vía de la estimulación eléctrica ha sido ya investigado en animales no humanos; véase Horgan J. The forgotten era of brain chips. Scientific American 2005;293(4): 66–73. La versión en español en: Horgan J. Orígenes de los chips cerebrales. Mente y Cerebro 2005;15:80-87.

como receptor pasivo de las decisiones que el médico tomaba en su nombre y por su bien, llegó a finales del siglo veinte transformado en un agente con derechos bien definidos y amplia capacidad de decisión autónoma sobre los procedimientos diagnósticos y terapéuticos que se le ofrecen, pero ya no se le imponen. 2. El médico, que de ser padre sacerdotal (como correspondía al rol tradicional de su profesión) se fue transformando en un asesor técnico de sus pacientes, a los que ofrece sus conocimientos y consejos, pero cuyas decisiones ya no asume. 3. La relación clínica, que de ser bipolar, vertical e infantilizante, se fue colectivizando (con la entrada en escena de múltiples profesionales sanitarios), se fue horizontalizando y se fue adaptando al tipo de relaciones propias de sujetos adultos en sociedades democráticas»[441]. La introducción del proceso de consentimiento informado ha sido clave en todo esto, y aunque se siga criticando que la relación no es totalmente horizontal (de hecho, en la práctica seguramente no lo es, pero debería serlo; la ética nunca ha tratado de lo que es, sino de lo que debería ser), los cambios están dados.

La pregunta obligada ahora es, ¿cambiará la relación clínica con la introducción de la nanomedicina y sus consideraciones nanobioéticas? Hay quien opina que sí[442], ya que, siguiendo los argumentos dados para las innovaciones disruptivas y las sostenidas, la tendencia sería cada vez más hacia: una horizontalización aún mayor de la relación clínica, un mayor auto-cuidado (responsabilizándose más los pacientes de sí mismos), así como una menor atención en grandes centros sanitarios (dado que pruebas de diagnóstico y monitoreo podrían estar accesibles en el propio domicilio, modificando la función de los profesionales sanitarios cada vez más hacia asesores técnicos).

441 Lázaro J, Gracia D. La relación médico-enfermo a través de la historia. Anales del Sistema Sanitario de Navarra 2006;29(Supl 3):7-17.

442 Jotterand F. Nanomedicine: How it could reshape clinical practice. Nanomedicine (London) 2007;2(4):401-405.

En el terreno práctico, la bioética tiene claro que esto es más complicado. La teoría del consentimiento informado tiene suficientes críticas respecto a qué es lo que hay que informar, cuánto informar, la dificultad en la comprensión del paciente de la compleja información técnica, etcétera.[443] De este modo, resulta más compleja la transmisión de información relacionada con las aplicaciones de la nanotecnología en la nanomedicina[444], tales como el concepto de riesgo[445] (ya de por sí difícil de explicar por los profesionales de la salud, y difícil de comprender por el lego), aspectos nanotoxicológicos[446], etcétera. Son algunas limitaciones, pero no argumentos suficientes para considerar que el intento es imposible. Algunas recomendaciones pueden venir también de la experiencia de la bioética: el auxilio con videograbaciones que expliquen procesos y procedimientos, el uso de materiales computacionales interactivos, etcétera.

Lo anterior parece mostrar que el proceso del consentimiento informado, complejo en sí mismo, se volvería aún más complicado, largo y denso. Otro resultado sería que los formularios escritos que intentan dar evidencia del proceso, también serían más difíciles de comprender, largos y densos.

443 Simón Lorda P. El consentimiento informado. Historia, teoría y práctica. Madrid: Triacastela; 2000.

444 Asveld L. Informed consent in fields of medical and technological practice: An explorative comparison. Techné: Research in Philosophy and Technology 2006;10(1):18-34.

445 Priest SH. Risk communication for nanobiotechnology: To whom, about what, and why? Journal of Law, Medicine and Ethics 2009;37(4):759-769.

446 Shrader-Frechette K. Nanotoxicology and ethical conditions for informed consent. Nanoethics 2007;1(1):47-56.

5.3.3. Países emergentes

A propósito de los hitos históricos en nanotecnología se mencionó la propuesta de Basalla: existiría un centro productor de la ciencia occidental (Europa o EEUU) y de ahí se esparciría hacia la periferia (los países emergentes[447]), para llenar el vacío científico en estas regiones. En esta misma línea de pensamiento, hay quien argumenta que la presencia del desarrollo nanotecnológico en países emergentes es meramente una adopción de agendas marcadas por países desarrollados[448]. Sin embargo, existen numerosas críticas a esta propuesta lineal, secuencial, unilateral y difusionista, basándose en estudios de caso[449] (resaltando diferencias específicas de ese pretendido proceso lineal), o con intentos de explicación de orden global: geopolítico[450], socioeco-

447 Se opta por la terminología de "país emergente" (que pudo haber sido "nación emergente") para referirse a aquellos denominados como "países en vías de desarrollo", "países en desarrollo" o "países de desarrollo intermedio". Estas terminologías suelen hacer referencia a economías que se encuentran "en pleno desarrollo", partiendo de un "estado de subdesarrollo" o de una "economía de transición". Sin embargo, queda claro que el desarrollo económico no es el único (aunque muy estimado por el neoliberalismo, desde luego), y que aún con un desarrollo económico grande está el problema de la distribución, las inequidades, etcétera.

448 Delgado Ramos GC. Sociología política de la nanotecnología en el hemisferio occidental: El caso de Estados Unidos, México, Brasil y Argentina. Revista de Estudios Sociales 2007;27:164-181.

449 MacLeod R. On visiting the "moving metropolis": Reflections on the architecture of imperial science. En: Reingold N, Rothenberg M. (eds.) Scientific Colonialism. Washington: Smithsonian Institution; 1987. p. 217-249.

450 Pyenson L. Ciencia pura y hegemonía política: Investigadores franceses y alemanes en Latinoamérica. En: Lafuente A, Saldaña JJ (Eds.) Historia de las ciencias. Nuevas tendencias. Madrid: CSIC; 1987. p. 195-215.

nómico[451], socio-profesional[452], etcétera; no obstante, estas explicaciones han tenido un sesgo disciplinar, resultando parciales.

Aparecieron otros modelos en un intento por caracterizar globalmente esta problemática con los estudios sobre "ciencia e imperio" con múltiples enfoques[453]. Algunos trabajos recogían esfuerzos que agrupaban varios casos de regiones diversas[454]. Puede decirse que es el inicio de la explicación de los procesos de asimilación e institucionalización de la "ciencia central" en la "periferia".

Así, el desarrollo de la nanotecnología en países emergentes no es la mera difusión de la nanotecnología desarrollada fundamentalmente en los países desarrollados. Las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad son mucho más complejas. Baste recordar que al inicio de este libro se comentó que la propia definición de nanotecnología tiene variaciones cuando se trata de un país desarrollado respecto de las acuñadas por países emergentes. Es un hecho que la nanotecnología se impulsa en estoa últimos países, siendo los líderes[455] China[456], India[457]

---

451 Sagasti F. La política científica y tecnológica en América Latina: Un estudio de enfoque de sistemas. México, DF: El Colegio de México; 1983.

452 Díaz E, Texera Y, Vessuri HMC. (Eds.) La ciencia periférica. Ciencia y sociedad en Venezuela. Caracas: Monte Ávila; 1984.

453 Pyenson L. Pure learning and political economy: Science and European expansion in the age of imperialism. En: Visser RPW, Bos HJM, Palm LC, Snelders HAM. New trends in the history of science. Amsterdam-Atlanta: Rodopi; 1989.

454 Meade T, Walter M. Science, medicine & cultural imperialism. New York: Saint Martin Press; 1991.

455 Niosi J, Reid SE. Biotechnology and nanotechnology: Science-based enabling technologies as windows of opportunity for LDCs? World Development 2007;35(3):426-438.

456 Hassan MH. Nanotechnology. Small things and big changes in the developing world. Science 2005;309(5731):65-66.

457 Patra D, Haribabu E, McComas KA. Perceptions of nano ethics among practitioners in a developing country: A case of India. Nanoethics 2010;4(1):67-75.

y Brasil[458]; posibles candidatos a un mayor desarrollo son Argentina[459] y México.

Se ha propuesto que las aplicaciones nanotecnológicas pueden ayudar a conseguir los objetivos del milenio de Naciones Unidas en países emergentes[460]; en teoría, solucionaría problemas relacionados con agua, energía, agricultura y salud[461]; incluso, se ha dicho que la nanotecnología tiene una importancia indispensable para "revivir" económica y científicamente a países emergentes[462]. Se trata de una visión nanoentusiasta, que ha recibido críticas serias[463]. La historia en-

458 Invernizzi N. Visions of Brazilian scientists on nanosciences and nanotechnologies. Nanoethics 2008;2(2):133-148.

459 Ulloa SE. Nanoscience in Latin America. Journal of Nanoparticle Research 2000;4(1-2):175-177.

460 Salamanca-Buentello F, Persad DL, Court EB, Martin DK, Daar AS, Singer PA. Nanotechnology and the developing world. PLoS Medicine 2005 May;2(5):e97. doi 10.1371/journal.pmed.0020097 Los objetivos de desarrollo del milenio fueron fijados el año 2000 por Naciones Unidas; los 192 países miembros acordaron conseguirlos para el año 2015. Son: 1) Erradicar la pobreza extrema y el hambre, 2) Educación universal, 3) Igualdad entre los géneros, 4) Reducir la mortalidad de los niños, 5) Mejorar la salud materna, 6) Combatir el VIH/SIDA, 7) Sostenibilidad del medio ambiente, 8) Fomentar una asociación mundial. Organización de las Naciones Unidas. Portal de la labor del sistema de las Naciones Unidas sobre los objetivos de desarrollo del milenio. Disponible en URL: http://www.un.org/spanish/millenniumgoals/ Está claro y ya documentado que no hubo país miembro que consiguiera las metas planteadas para los objetivos del desarrollo del milenio. En el fondo, el problema ético que subyace a todos ellos es la equidad, así como sus importantes repercusiones en la salud en general y en la salud humana en particular.

461 Barker TF, Fatehi L, Lesnick MT, Mealey TJ, Raimond RR. Nanotechnology and the poor: Opportunities and risks for developing countries. En: Allhoff F, Lin P. Nanotechnology & society. Current and emerging ethical issues. New York: Springer; 2009. p. 243-263.

462 El Naschie MS. Nanotechnology for the developing world. Chaos, Solitons and Fractals 2006;30:769-773.

463 Foladori G, Invernizzi N. Nanotechnology for the poor? PLoS Medicine 2005

seña que el desarrollo industrial y tecnológico no ha impactado tan positivamente ni tan rápidamente a la población de un modo global, al menos no tanto como se desearía[464]. Este impacto tampoco ha sido tan positivo ni tan rápido cuando se habla del desarrollo tecnológico en medicina[465]. Con estos antecedentes como argumentos, la nanomedicina no tendría por qué ser una excepción. De hecho, en la actualidad, el acceso a la tecnología disponible en atención a la salud no es equitativo[466]. Qué duda cabe que la nanotecnología puede ofrecer soluciones, pero tal vez no sean las óptimas para países emergentes, ya que, al menos al principio, su aplicación resultaría muy costosa, tanto que puede volverse casi imposible su aplicación práctica[467]. Esto también explicaría que los temas de investigación en nanotecnología son diferentes entre países desarrollados y los emergentes[468].

Además, también hay que destacar que el análisis de la intervención de entidades como el Banco Mundial o la OECD, muestra que

---

Aug;2(8):e280. doi 10.1371/journal.pmed.0020280

464 O'Manthúna DP. Nanoethics. Op. Cit. p. 88.

465 ETC Group. Nanotech Rx – Medical applications of nano-scale technologies: What impact on marginalized communities? 2006; disponible en URL: http://www.etcgroup.org/files/publication/593/01/etc06nanotechrx.pdf Versión en español en Grupo ETC. Medicina nanológica. Aplicaciones médicas de las nanotecnologías: ¿Cuál es su impacto en las comunidades marginadas? 2006; disponible en URL: http://www.etcgroup.org/files/publication/598/02/nanomedicinespanishfin.pdf

466 Frost LJ, Reich MR. How do good health technologies get to poor people in poor countries? Cambridge: Harvard University Press; 2008. Alonso Fernández MJ. Ciencia y salud global: La brecha del desarrollo. Madrid: Real Academia Nacional de Farmacia; 2010.

467 Schummer J. Impact of nanotechnologies in developing countries. En: Allhoff F, Lin P, Moor J, Weckert J. Nanoethics. Op. Cit. p. 291-307.

468 Cetindamar D, Wasti NS, Ansal H, Beyhan B. Does technology management research diverge or converge in developing and developed countries? Technovation 2009;29:45-58.

al impulsar políticas públicas que regulen la nanotecnología, se deja de lado un análisis adecuado de los riesgos para la salud y el medio ambiente[469]. Al no considerar a los trabajadores y a los consumidores, el desarrollo de políticas públicas se distancia de la sociedad, lo que no es admisible desde el punto de vista ético.

La antropología de la nanotecnología ha planteado como un posible escenario la aparición de pocas empresas dedicadas a la nanotecnología, lo que traería más problemas que beneficios para países emergentes. Primero, el aumento de la productividad en nanotecnología haría desventajosa la competencia para países con mayor atraso. Segundo, concentraría la riqueza entre quienes pueden desarrollar y pagar las patentes de los nanoproductos. Lo anterior, evidentemente, aumentaría la inequidad[470]. Los análisis muestran que el número de científicos relacionados con las aplicaciones nanotecnológicas, junto a la falta de políticas públicas nacionales para el desarrollo nanotecnológico en muchos países emergentes, hacen que no se pueda alcanzar un desarrollo a corto plazo[471]. De esta manera, una de las grandes preguntas, sin una respuesta concreta o unívoca, es sobre la justicia y la equidad en el acceso a la nanotecnología[472].

En el campo específico de la nanomedicina pueden extrapolarse todas estas reflexiones, y otras más. Suele pensarse que uno de los

469 Foladori G. Nanotechnology Policies in Latin America: Risks to health and environment. Nanoethics 2013; doi: 10.1007/s11569-013-0178-2

470 Foladori G, Invernizzi N. (Ed.) Nanotechnologies in Latin America. Berlin: Verlag-RELANS; 2008.

471 Vargas Cantín P, Ortiz Montenegro I, Rojas Maturana V. Vigilancia tecnológica aplicada a nanociencia y nanotecnología en países de Latinoamérica. Journal of Technology, Management & Innovation. 2006;1(4):83-94.

472 Garcia T, Sandler R. Enhancing justice? Nanoethics 2008;2(3):277-287. Jamison A. Can nanotechnology be just? On nanotechnology and the emerging movement for global justice. Nanoethics 2009;3(2):129-136.

grandes problemas en países emergentes son las enfermedades infecto-contagiosas, lo cual tiene una buena dosis de razón. La nanomedicina ofrece varias soluciones.

Para que se controle y eventualmente se erradique una enfermedad infecciosa deben cubrirse cuatro áreas: prevención (e inmunización cuando es posible)[473], diagnóstico rápido y temprano[474], investigación de sistemas novedosos de liberación de fármacos (con un acceso a medicamentos seguros y económicos), y la investigación de nuevos fármacos. Representa todo un reto científico y ético hacer todo esto a con costos razonables[475]. Hay investigaciones al respecto en infección por VIH[476], tuberculosis[477], malaria[478], enfermedad de Chagas[479], etcétera.

Lo anterior es un gran aliciente, pero lo que no resulta tan razonable es considerar que la nanotecnología sea la única y/o mejor solución.

---

473 Look M, Bandyopadhyay A, Blum JS, Fahmy TM. Application of nanotechnologies for improved immune response against infectious diseases in the developing world. Advanced Drug Delivery Reviews 2010;62(4-5):378-393.

474 Hauck TS, Giri S, Gao Y, Chan WCW. Nanotechnology diagnostics for infectious diseases prevalent in developing countries. Advanced Drug Delivery Reviews 2010;62(4-5):438-448. Lee WG, Kim YG, Chung BG, Demirci U, Khademhosseini A. Nano/microfluidics for diagnosis of infectious diseases in developing countries. Advanced Drug Delivery Reviews 2010;62(4-5):449-457.

475 Sosnik A, Amiji M. Nanotechnology solutions for infectious diseases in developing nations. Advanced Drug Delivery Reviews 2010;62(4-5):375-377.

476 das Neves J, Amiji MM, Bahia MF, Sarmento B. Nanotechnology-based systems for the treatment and prevention of HIV/AIDS. Advanced Drug Delivery Reviews 2010;62(4-5):458-477.

477 Sosnik A, Carcaboso AM, Glisoni RJ, Moretton MA, Chiappetta DA. New old challenges in tuberculosis: Potentially effective nanotechnologies in drug delivery. Advanced Drug Delivery Reviews 2010;62(4-5):547-559.

478 Santos-Magalhães NS, Furtado Mosqueira VC. Nanotechnology applied to the treatment of malaria. Advanced Drug Delivery Reviews 2010;62(4-5):560-575.

479 Romero E, Morilla MJ. Nanotechnological approaches against Chagas disease. Advanced Drug Delivery Reviews 2010;62(4-5):576-588.

Por ejemplo, la malaria se ha reducido en un 99% en una provincia de China[480] mediante movilización social, fumigaciones, y uso de redes anti-mosquitos. Con métodos similares se ha reducido la mortalidad por malaria en un 97% en Vietnam[481]. Evidentemente estas estrategias resultan mucho menos costosas que lo que puede resultar el desarrollo de la nanomedicina.

Puede pensarse que la nanomedicina, al menos en su inicio en países emergentes, será un recurso al cual podrán acceder solamente unos pocos dentro de la población[482]. También es posible inferir que las inequidades entre países pueden llevar al turismo médico para beneficiarse de la nanomedicina ofrecida en países emergentes a costes más bajos que la nanomedicina en países desarrollados (como ya ocurre con diversos tratamientos quirúrgicos, técnicas de reproducción humana asistida, etcétera[483]).

Todo lo anterior no necesariamente desalienta el desarrollo de la nanomedicina en países emergentes, puede servir para fomentar la educación, incentivar la inversión y las políticas públicas nacionales para que exista una infraestructura apropiada, etcétera. Un reto fundamental consiste en la regulación de la nanotecnología en lo general y de la nanomedicina en lo particular. Los verdaderos problemas éticos imperiosos son los que derivan de esto, ya que se trata de generar una

480 Jackson S, Sleigh AC, Liu xl. Economics of malaria control in China: Cost performance and effectiveness of Henan's consolidation programme. Geneva: World Health Organization; 2002.

481 World Health Organization. Viet Nam reduces malaria death toll by 97% within five years. En: World Health Organization. Health, a key to prosperity. Success stories in developing countries. Geneva: who; 2002.

482 Turner L. 'First world health care at third world prices': Globalization, bioethics and medical tourism. BioSocieties 2007;2:303-325.

483 Foladori G. Nanotecnología, salud y pobreza. ¿Cuáles son las expectativas? En: Coca JR. (Ed.) Varia biológica: Filosofía, ciencia y tecnología. León: Universidad de León, Centro de Estudios Metodológicos e Interdisciplinarios; 2007. p. 43-63.

regulación nacional y supranacional que no sea desfavorecedora para países emergentes (lo cual, tan solo en el tema de patentes de nanoproductos, ya es difícil conseguir[484]).

5.4. Desafíos de la regulación de incógnitas conocidas

Un gran tema pendiente es ¿cómo realizar regulaciones éticas en nanomedicina? El hecho de que no exista una legislación específica o alguna normativa vinculante no quiere decir que haya una ausencia de regulación. Por ejemplo, existe normativa ISO[485]; sin embargo, su adopción es voluntaria.

Recordando la distinción que ha trabajado Adela Cortina entre una ética mínima que permita la coexistencia de varias éticas de máximos[486], sería entonces necesario buscar los mínimos éticos presentes en la legislación (nanobiojurídicos), así como los máximos que serían deseables aunque no exigibles (nanobioéticos).

---

484 Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. La nanotecnología y las patentes. Disponible en URL: http://www.wipo.int/patent-law/es/developments/nanotechnology.html

485 La International Organization for Standardization o ISO (del griego, ἴσος, "igual"), es un organismo encargado de promover el desarrollo de normas internacionales de fabricación, comercio y comunicación para todas las ramas industriales (excepto eléctrica y electrónica). Busca la estandarización de normas de productos y seguridad para empresas u organizaciones. La Norma ISO/TR 12885:2008 (Nanotecnologías – Salud y prácticas de seguridad en lugares de trabajo correspondientes a las nanotecnologías) tal vez sería la más cercana al tema de este libro; sin embargo, todavía no hay ninguna norma que estandarice aplicaciones nanomédicas. International Organization for Standardization International Standards for Business, Government and Society. Disponible en URL: http://www.iso.org/iso/home.html

486 Cortina A. Ética mínima. Madrid: Tecnos; 1986.

5.4.1. Nanobioética y comités

Los objetivos que tradicionalmente se han adjudicado a los comités de bioética son docentes, consultivos, normativos y otros propios de cada tipo de comité (asistencial, de investigación, etcétera)[487]. Una función primordial que subyace a las anteriores es la promoción de la excelencia a través de su labor mediante una metodología propia de trabajo, que corresponde a la deliberación moral. Un comité de bioética es un órgano de deliberación[488]. La UNESCO ha preparado guías para la creación, funcionamiento y capacitación de comités de bioética[489].

La nanomedicina seguramente requerirá de la consulta a los comités[490]; sin embargo, habrá que ver de qué manera. Si se ha proyectado que la responsabilidad recaerá cada vez más en el auto-cuidado y el cuidado a domicilio[491], probablemente un cambio sustancial sea que quienes consulten más a los comités sean los pacientes y no los profe-

---

487 Gracia D. Teoría y práctica de los comités de ética. En: Martínez JL (Ed.). Comités de bioética. Bilbao: Desclée de Brouwer/Universidad Pontificia Comillas: 2003. p. 59-70.

488 Dzur AW, Levin D. The primacy of the public: In support of bioethics commissions as deliberative forums. Kennedy Institute of Ethics Journal 2007;17(2):133-142.

489 United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Guía No 1. Creación de comités de bioética. París: UNESCO; 2005. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Guía No 2. Funcionamiento de los comités de bioética: Procedimientos y políticas. París: UNESCO; 2006. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Guía No 3. Capacitación de los comités de bioética. París: UNESCO; 2007.

490 Thompson RE. Nanotechnology: Science fiction? Or next challenge for the ethics committee? Physician Executive 2007;33(3):64-66.

491 Román I, Calvillo J, Roa LM. Personalizing care: Integration of hospital and homecare. En: Yogesan K, Bos L, Brett P, Gibbons MC. (Eds.) Handbook of digital homecare. Berlin Heidelberg: Springer Verlag; 2009. p. 33-52.

sionales sanitarios (justo la inversa de lo que ocurre en la actualidad). Otro cambio será probablemente el incremento en las actividades de comités nacionales y supranacionales, dado que el impacto nanotecnológico se globalizaría aún más, y, con ello, la nanomedicina.

Todo esto deja nuevas inquietudes. Por ejemplo, ¿cuál sería la composición deseable de tales comités?, ¿sería fácil conseguir un experto en nanotecnología, en nanomedicina, o en nanoética para que participe en las deliberaciones?, ¿deberían tener todos los miembros una formación mínima en temas de nanotecnología o nanoética? Indudablemente esto haría que se reformularan algunas recomendaciones para subsanar estas problemáticas.

5.4.2. Nanobioderecho y nanobiopolítica

5.4.2.1. Principio de precaución

Los orígenes del principio de precaución se encuentran en el *vorsorgeprinzip*, o principio de previsión, introducido en la legislación medioambiental alemana en la década de los años setenta del pasado siglo. El principio se ha recogido posteriormente en más de una veintena de tratados y convenciones internacionales[492].

El principio establece que «cuando una actividad representa una amenaza o un daño para la salud humana o el medio ambiente, hay que tomar medidas de precaución incluso cuando la relación causa-efecto no haya podido demostrarse científicamente de forma concluyente»[493].

---

[492] de Cózar Escalante JM. Principio de precaución y medio ambiente. Revista Española de Salud Pública 2005;79(2):133-144.

[493] Raffensperger C, Tickner J. (Eds.) Protecting public health and the environment: Implementing the precautionary principle. Washington, DC: Island Press; 1999.

Como todo principio, es una guía general, no dice qué hacer en un caso particular. Puede describirse operativamente «como la estrategia que, con enfoque preventivo, se aplica a la gestión del riesgo en aquellas situaciones donde hay incertidumbre científica sobre los efectos que en la salud o el medio ambiente puede producir una actividad determinada. Su aplicación requiere que, antes de aceptar una actividad o procedimiento nuevo, se disponga de evidencia de que el riesgo que comporta es aceptablemente bajo y no sólo de ausencia de evidencia de que el riesgo es elevado e inaceptable. La implementación, sin embargo, es compleja, porque no se especifica cuantitativamente la precaución que hay que tener o el momento en el que deben aplicarse las medidas precautorias»[494].

Muchas críticas se vierten sobre el principio por cuestiones que son inherentes a la propia realidad, y que la ética asume. Una fundamental es la incertidumbre, ya que todo proyecto que se realice siempre tendrá algo de incertidumbre; suele hablarse de los riesgos, pero la noción de riesgo está montada en la de incertidumbre. Así, la epistemología de ciencias inexactas toma en cuenta esto que le es constitutivo[495]. Todo esto fundamenta más críticas al trabajo de Dupuy respecto a su no consideración del principio de precaución.

La estructura formal del principio de precaución puede ser: Si la acción *A* tiene alguna posibilidad *P* de causar un efecto *E*, entonces aplicar el recurso *R*. Así, tres posibles aplicaciones en nanotecnología serían: 1) Si la investigación en nanotecnología continúa, entonces hay una posibilidad de que sean desarrollados robots que se auto-repli-

494 Sánchez E. El principio de precaución: Implicaciones para la salud pública. Gaceta Sanitaria 2002;16(5):371-373.

495 Helmer O, Rescher N. On the epistemology of the inexact sciences. Management Science 1959;6(1):25-52. Tallacchini M. Before and beyond the precautionary principle: Epistemology of uncertainty in science and law. Toxicology and Applied Pharmacology 2005;207(Suppl 2):S645-S651.

quen y por consiguiente la posibilidad del problema de la plaga gris (sobre la base de que aquellos robots puedan escapar y que no puedan ser contenidos); 2) Si son utilizadas nanopartículas en productos, entonces hay una posibilidad de que la salud será dañada (no se conocen sus efectos); 3) el desarrollo de la nanoelectrónica pone en peligro la privacidad personal[496]. Esto muestra que los casos particulares son tan dispares entre sí que necesitan otro tipo de análisis complementario al que puede proveer el principio de precaución de manera aislada (una opción podría ser el enfoque de los valores, que se trata más adelante).

A pesar de la importancia que muestra el principio formalmente, hay diferencias en cuanto a su aceptación, siendo menos popular en EEUU que en Europa[497], donde incluso se ha adoptado un código voluntario de buena conducta que incluye explícitamente el principio de precaución para guiar la investigación en nanociencia y nanotecnología: «Las actividades de investigación en N&N deberían estar conducidas de acuerdo con el principio de precaución, anticipando impactos potenciales medioambientales, sanitarios y de seguridad de los resultados de N&N y tomando las debidas precauciones, proporcionales al nivel de protección, mientras alientan el progreso por el beneficio de la sociedad y el medioambiente»[498].

La UNESCO ha considerado a través del COMEST que la aplicación del principio de precaución es una responsabilidad ética y que tiene implicaciones jurídicas[499].

---

496 Weckert John, Moor J. The precautionary principle in nanotechnology. International Journal of Applied Philosophy 2006;2(2):191-204.

497 O'Manthúna DP. Nanoethics. Op. Cit. p. 75-85.

498 European Commission. Commission recommendation on A code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research & Council conclusions on Responsible nanosciences and nanotechnologies research. Bruselas: Directorate-General for Research Science, Economy and Society; 2009. p. 14.

499 United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization – Commis-

En nanomedicina parece ser prudente la necesidad de la aplicación del principio de precaución en el uso de nanates[500]. Incluso, el principio puede ser una guía para la regulación de la nanomedicina, a nivel de políticas públicas[501].

5.4.2.2. Vigilancia y gobernabilidad

Representa un reto actual desarrollar sistemas de vigilancia y control de la nanotecnología en lo general y de la nanomedicina en lo particular[502], a través de diferentes modalidades de regulación (requisitos de etiquetado, pago de derechos y multas, acceso al mercado, prohibiciones absolutas, etcétera) aplicables a cualquier parte de la cadena necesaria para suministrar nanoproductos (investigación, manufactura, mercadotecnia, etcétera)[503]. Hay que destacar que la ausencia de leyes específicas sobre nanotecnología o nanomedicina no es sinónimo de

---

sion on the Ethics of Scientific Knowledge and Technology. Informe del grupo de expertos sobre el principio precautorio. París: UNESCO; 2005. El texto no menciona la nanotecnología, pero las reflexiones pueden extrapolarse hasta la nanomedicina.

500 Kanarek MS. Nanomaterial health effects part 3: Conclusion - Hazardous issues and the precautionary principle. Wisconsin Medical Journal 2007;106(1):16-19. Grunwald A. Nanoparticles: Risk management and the precautionary principle. En: Jotterand F. (Ed.) Emerging Conceptual, Ethical and Policy Issues in Bionanotechnology. Op. Cit. 85-102.

501 Faunce TA. Policy challenges of nanomedicine for Australia's PBS. Australian Health Review 2009;33(2):258-267.

502 Paradise J, Wolf SM, Kuzma J, Ramachandran G, Kokkoli E. Introduction: The challenge of developing oversight approaches to nanobiotechnology. Journal of Law, Medicine and Ethics 2009;37(4):543-545.

503 Allhoff F, Lin P, Moore D. What is nanotechnology and why does it matter? Op. Cit. p. 96-125.

que se encuentren en una ausencia total de regulación[504]. Además, la gobernabilidad de los riesgos vuelve especial el tema de la nanotecnología[505] y con ello la nanomedicina.

La historia muestra que hay varias lecciones por aprender respecto de la gobernabilidad de tecnologías emergentes: 1) la confianza del público y la confianza en una tecnología y su supervisión normativa son probablemente los factores más importantes para su éxito comercial; 2) la regulación debe evitar la discriminación en contra de algunas tecnologías, a menos de que existan suficientes fundamentos científicos para un trato desigual; 3) los sistemas de regulación debe ser flexibles y adaptables a los rápidos cambios tecnológicos; 4) las preocupaciones éticas y sociales de la ciudadanía sobre las nuevas tecnologías deben estar expresamente reconocidas y abordadas en la supervisión reguladora; 5) la armonización internacional puede ser beneficiosa en un mundo que se globaliza rápidamente[506].

En los EEUU la Administración de Alimentos y Fármacos (FDA, Food and Drug Administration) ha integrado enfoques de políticas públicas, derecho y bioética, empleando criterios múltiples de valoración, incluyendo económicos, sociales, de seguridad y tecnológicos[507].

---

504 Ludlow K. Nanoregulation - Filtering out the small stuff. Nanoethics 2008;2(2):183-191.

505 Bucci LM, Stanton-Jean M, Knoppers BM. Un modelo de gobernabilidad de los riesgos para la nanotecnología: Una revisión de guías y políticas internacionales. BenEdit 2009;7(2):1-7.

506 Marchant GE, Sylvester DJ, Abbott KW. What does the history of technology regulation teach us about nano oversight? Journal of Law, Medicine and Ethics 2009;37(4):724-7231.

507 Paradise J, Tisdale AW, Hall RF, Kokkoli E. Evaluating oversight of human drugs and medical devices: A case study of the FDA and implications for nanobiotechnology. Journal of Law, Medicine and Ethics 2009;37(4):598-624. Chowdhury N. Regulation of nanomedicines in the EU: Distilling lessons from the pediatric and the advanced therapy medicinal products approaches. Nanomedicine (London)

En el caso de la normativa europea existente, se recomienda que siga adecuándose a medida que se logran más avances en nanomedicina[508].

Todas estas consideraciones generales deben realizarse entendiendo que la participación de universidades, centros hospitalarios, gobierno, industria, grupos de pacientes, fundaciones benéficas, filántropos, etcétera, deberían participar para que el desarrollo nanomédico sea posible en las diferentes especialidades médicas[509]. Una forma de intentar articular esto es a través de la democracia deliberativa.

5.4.2.3. Democracia deliberativa y nanomedicina

El trabajo de Gutmann[510] sobre la democracia deliberativa[511] ha tenido diversas repercusiones, una de ellas en bioética. Gutmann presentó un trabajo en el III Congreso Mundial de Bioética (San Francisco, California, EEUU, del 22 al 24 de noviembre de 1996), titulado sim-

---

2010;5(1):135-142.

508 D'Silva J, van Calster G. Taking temperature - A review of European Union regulation in nanomedicine. European Journal of Health Law 2009;16(3):249-269.

509 Kateb B, Chiu K, Black KL, Yamamoto V, Khalsa B, Ljubimova JY, Ding H, Patil R, Portilla-Arias JA, Modo M, Moore DF, Farahani K, Okun MS, Prakash N, Neman J, Ahdoot D, Grundfest W, Nikzad S, Heiss JD. Nanoplatforms for constructing new approaches to cancer treatment, imaging, and drug delivery: What should be the policy? Neuroimage 2011;54(Suppl 1):S106-S124.

510 Amy Gutmann (19 de noviembre de 1949; Brooklyn, Nueva York, EEUU -). Estadounidense, doctora en Ciencias Políticas; octava Rectora de la Universidad de Pennsylvania desde 2004; enseñó en Princeton de 1976 a 2004; desde 2009 ocupa la presidencia de The Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues.

511 Gutmann A. Democratic education. Princeton: Princeton University Press; 1987. Gutmann A, Thompson D. Democracy and disagreement. Cambridge: Belknap Press of Harvard University Press; 1996. Gutmann A, Thompson D. Why deliberative democracy? Princeton: Princeton University Press; 2004.

plemente "democracia deliberativa". La tesis de Gutmann fue que en una democracia liberal los desacuerdos deben ser deliberados, y que la naturaleza humana tiene cuatro causas diferentes de desacuerdos.

La presentación de Gutmann aparece publicada al año siguiente, donde dice que las cuatro causas de desacuerdo son: 1) escasez de recursos, 2) generosidad limitada, 3) valores morales incompatibles, y 4) el entendimiento incompleto. A estas causas de desacuerdo responden los que propone como los cuatro propósitos de la deliberación, y serían, en el orden correspondiente a las causas citadas: 1) promover la legitimidad de las decisiones colectivas, 2) fomentar que las perspectivas sobre asuntos públicos estén inspiradas en la ciudadanía, 3) promover mutuamente la toma respetuosa de decisiones, y 4) ayudar a corregir los errores que cometen inevitablemente ciudadanos, profesionales y funcionarios cuando aceptan acciones colectivas[512].

Se ha propuesto que la democracia deliberativa puede convertirse en un adecuado mecanismo de control de la nanotecnología en general[513] y por lo tanto de la nanomedicina. Se trata de algo muy complejo, ya que requiere de un activismo legislativo responsable, aunado a una ciudadanía bien informada, educada y reflexiva, lo cual ya es todo un reto de por sí. Todo parece indicar que en el Estado democrático moderno la participación ciudadana debería considerarse cada vez más[514].

---

512 Gutmann A, Thompson D. Deliberating about bioethics. Hastings Center Report 1991;27(3):38-41. Versión en español: Gutmann A, Thompson D. Deliberar sobre la bioética. Revista Selecciones de Bioética 2006;3:59-65.

513 Farrelly C. Deliberative democracy and nanotechnology. En: Allhoff F, Lin P, Moor J, Weckert J. Nanoethics. Op. Cit. p. 215-224.

514 Pidgeon N, Rogers-Hayden T. Opening up nanotechnology dialogue with the publics: Risk communication or 'upstream engagement'? Health, Risk & Society 2007;9(2):191-210. Evers J, D'Silva J. Knowledge transfer from citizens' panels to regulatory bodies in the domain of nano-enabled medical applications. Innovation - The European Journal of Social Science Research 2009;22(1):125-142. Kyle R, Dodds S. Avoiding empty rhetoric: Engaging publics in debates about nanotechnol-

Desde luego, el que sea algo sumamente complejo, no le hace escapar al terreno de la nanobioética; al contrario. En tanto que ética aplicada, la nanobioética busca lo que debería ser, no lo que es. Esta distinción es clásica en filosofía y ética. Por ello, en esa búsqueda de lo que debería ser, la deliberación democrática es un proceso continuo, que va dando respuestas provisionales adecuadas con los planteamientos que la realidad va presentando.

Existen ya varias publicaciones que sugieren en uso de la deliberación al abordar problemas generados por la aplicación de la nanotecnología, la nanobiotecnología[515] y la nanomedicina[516]. Sin embargo, destaca que no explicitan qué es o en qué consiste el "deliberar". Este punto, crucial, se aclara más adelante.

5.5. Nanos a la obra: ética y nanotecnología

¿Se trata de un retroceso en lugar de un avance dentro de este trabajo? Ya se dijo que la ética de la nanotecnología era la nanoética, una ética aplicada emergente. Ahora se vuelve a intentar relacionar, ¿por qué? Parece ser que el trabajo de los filósofos, a primera vista, no es avanzar, sino retroceder, o mejor, ir hacia abajo, a la raíz, a eso que se

---

ogies. Science and Engineering Ethics 2009;15(1):81-96.

515 Pidgeon N, Harthorn BH, Bryant K, Rogers-Hayden T. Deliberating the risks of nanotechnologies for energy and health applications in the United States and United Kingdom. Nature Nanotechnology 2009;4(2):95-98. Nelson KC, Andow DA, Banker MJ. Problem formulation and option assessment (PFOA) linking governance and environmental risk assessment for technologies: a methodology for problem analysis of nanotechnologies and genetically engineered organisms. Journal of Law, Medicine and Ethics 2009;37(4):732-748.

516 Nordmann A. Knots and strands: An argument for productive disillusionment. Journal of Medicine and Philosophy 2007;32(3):217-236.

denomina el fundamento. Ya se dijo que en el documento general de la Plataforma de Tecnología Europea en Nanomedicina consideran que el análisis ético debería estar basado en el principio de la dignidad humana[517] (y otros derivados de él), pero también subrayan que deberían examinarse los conflictos de valores. Ya se dijo también que un problema ético siempre consiste en un conflicto de valores. Pues bien, con todas las consideraciones previas respecto a la nanotecnología y la nanoética, así como la nanobiotecnología y la nanobioética vienen a ser como un telón de fondo, para poder mencionar una propuesta de fundamentación. No solamente de la nanobioética, sino de la ética en general. Otro de los deportes favoritos de los filósofos, además de cavar para proponer sus fundamentaciones, consiste en buscar aquello que es susceptible de universalización. Esta sería una aproximación general para el intento de solución de un problema en nanobioética: el enfoque de los valores.

Cabe destacar que el intento de una fundamentación última, única, sería un desatino. No parece que el ser humano sea capaz de tal empresa. De este modo, las fundamentaciones que se propongan (en este o en cualquier trabajo) tendrán las múltiples limitaciones propias de la humanidad de los seres humanos: la determinación sociohistórica, los límites de la razón, etcétera. Sin embargo, esto no excusa de la necesidad que hay de al menos esbozar intentos de fundamentación para poder extraer una metodología que permita trabajar y avanzar, en este caso, en la propuesta de soluciones a problemas éticos planteados por la nanomedicina.

---

517 El tema de la dignidad es denso y recurrente en la literatura ética y bioética; véase Álvarez-Díaz JA. ¿Qué es la dignidad humana? En: Álvarez Díaz JA, López Moreno S. Ensayos sobre ética de la salud. Aspectos clínicos y biomédicos. Vol. 1. Aspectos fundamentales y biomédicos. Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana; 2014. p. 63-90

5.5.1. La fundamentación de la ética

De acuerdo con Gracia[518], para fundamentar la ética hay que partir de la experiencia moral, que consiste en un dato primordial, concreto, individual e irreductible (más allá del cual no se puede pasar). El contenido de tal experiencia es un hecho, mientras que todo lo que se diga de ella es teoría. La experiencia moral correspondería a la experiencia de la obligación: todo ser humano formula juicios morales, siente que hay cosas que está obligado a hacer (y cosas a las que no está obligado), y pide cuentas (a sí mismo y a los demás), tanto de lo que ha hecho como de lo que no ha hecho, y fundamentalmente de lo que se propone hacer. La experiencia moral es universal (en tanto que todo ser humano la posee), es imperativa (dicha experiencia ordena hacer o no hacer algo) y es justificativa (pide cuentas, a uno mismo y a los demás).

Fundamentar es responder a un "por qué". En el caso de la fundamentación ética, el "por" estaría dado formalmente como obligación y el "qué" sería el contenido de la obligación. Cada contenido de una obligación tiene tres momentos (indisolubles, no son fases durante el tiempo, sino que se presentan simultáneamente en él): los hechos, los valores y los deberes (éstos, las obligaciones concretas; el deber de hacer o no tal o cual cosa).

El primer momento es el de los hechos. El ser humano se da cuenta de ellos mediante la percepción; de forma muy sencilla, los hechos son datos de percepción. Los hechos clínicos son datos de percepción. Por ejemplo, en el caso de una fractura, puede observarse si el hueso está roto mediante una placa de rayos X (percepción indirecta) o bien disecando hasta verlo (percepción directa). En el caso de la nanomedicina, las nanopartículas no se pueden observar directamente, pero hay muchos métodos para observarlas indirectamente y seguir su compor-

518 Gracia D. Origen, fundamentación y método de la bioética. Op. Cit.

tamiento. De una forma más complicada, los hechos son resultado de una compleja construcción, son producto de lo que se llama "ciencia". Para poder afirmar que "el nanate es un dispositivo actual" o "el nanite es un dispositivo hipotético", es necesario contar con lo que se denomina "método científico" y aplicarlo, en este caso, en el campo de la nanomedicina. Si se dice que un tipo de nanoembalaje es útil en la farmacología clínica, es necesario hacer investigación, preclínica y clínica. Los hechos científicos son producto de una enorme construcción.

Los seres humanos realizan juicios sobre los hechos. Estos juicios se denominan "juicios descriptivos". Este tipo de juicios se utilizan en la vida diaria, y tienen la estructura siguiente: "S es P". Si se dice "el día es soleado", se trata de un juicio descriptivo, basado en un dato de percepción. Si un médico dice "el tratamiento para este paciente es un citotóxico dentro de un nanoembalaje", se trata del mismo tipo de juicio, pero ya no solamente con datos de percepción, sino con la compleja construcción que se hace a partir de los resultados de pruebas diagnósticas (basadas, a su vez, en el desarrollo de la ciencia y de la técnica). Sin embargo, hay que ser cautos. Si se dice en la vida diaria "el día es hermoso", o si se afirma que "las pocas posibilidades de desarrollo de la nanomedicina en países menos desarrollados es injusto", puede observarse algo. Primero, estos juicios tienen la misma estructura de "S es P". Segundo, estos juicios no tratan sobre datos de percepción: la belleza o la justicia no se perciben (no se ven, no se escuchan, no se tocan), sino que se estiman. A esto es a lo que se denominan como "valores".

Así pues, el segundo momento es el de los valores. Como acaba de observarse, el ser humano realiza unos juicios que tienen la misma estructura que los descriptivos ("S es P"), pero que no sirven para describir un dato de percepción. Estos juicios se llaman "juicios valorativos", "juicios de valor", "juicios estimativos". Esto es, en el último de los casos, porque los valores ya no son datos de percepción (los

sentidos no sirven para captarlos), pero el ser humano cuenta con otra capacidad que es la estimación. El cerebro humano no solamente percibe; también sueña, imagina, estima, etcétera. Los valores se estiman. Se puede afirmar, siguiendo la regla de Moore[519], que los valores son aquellos que, si desaparecieran, el mundo perdería algo importante. ¿Qué sería de un mundo sin belleza, sin justicia, sin salud, sin amor, etcétera? Aunque estos conceptos parecieran subjetivos a primera vista, cuando varias personas aprecian que un buckminsterfullereno es bello[520], resulta evidente que no se trata de algo puramente subjetivo, sino más bien intersubjetivo[521]. Además, si se dice que tal molécula es bella, no se dice que lo es para sí, sino que la "belleza" es un atributo que tiene la molécula, por ende, la belleza tiene un cierto grado de objetividad. Entonces, son los hechos (como la molécula) los que sirven de soporte a los valores. Los valores no están "flotando" por ahí, sino que "penden" o mejor, son soportados por los hechos. En otras palabras, sin percepción no hay estimación; la dicotomía "hecho/valor" es académica (con fines docentes y/o de investigación).

También a primera vista los valores parecen más débiles que los hechos, pero no se puede dudar de su gran fuerza e importancia, puesto que por efecto de ellos a lo largo de la historia se ha ofrecido o se ha quitado una vida humana; además, también por efecto de ellos se

519 George Edward Moore (4 de noviembre de 1873; Upper Norwood, Londres, Inglaterra – 24 de octubre de 1958, Cambridge, Inglaterra). Filósofo inglés reconocido por sus contribuciones a la teoría ética y por su defensa del realismo filosófico. Editor de la revista *Mind* de 1921 a 1947. Moore GE. Principia Ethica. 2nd ed. New York: Cambridge University Press; 1993. (Original publicado en 1903)

520 Toumey C. Rhapsody in C. Nature Nanotechnology 2008;3(11):637-638. Goodsell DS. Fact and fantasy in nanotech imagery. Leonardo 2009;42(1):52-57. Toumey C. Truth and beauty at the nanoscale. Leonardo 2009;42(2):151-155.

521 Levi I. Value commitments, value conflict, and the separability of belief and value. Philosophy of Science 1999;66(4):509-533.

construyen los proyectos y los sueños. Los problemas éticos surgen cuando hay valores en conflicto[522]. Poner a prueba una nanopartícula con propiedades farmacológicas (o utilizarlas como nanoembalaje de otras moléculas con actividad farmacológica) es valioso para que la sociedad disponga de un elemento más dentro del arsenal terapéutico. Proteger la salud humana en particular (quienes participaran en un ensayo clínico) y la salud general (mediante controles de nanotoxicidad, protección ambiental, etcétera) también es valioso. Estos valores se ponen en conflicto cuando se hace investigación en nanomedicina. El conflicto de valores genera problemas éticos. El estudio de los valores corresponde a la axiología, por lo que hay que llegar al tercer momento, el propiamente ético, el de los deberes. Si la pregunta ética por antonomasia es "¿qué debo hacer?" resulta que se plantean varias salidas a un problema, siempre. Suele pensarse y escribirse reduciendo los problemas éticos a dilemas éticos (esto es, escoger solamente entre dos posibilidades, mutuamente excluyentes y contrapuestas); esto puede ser útil para el estudio de variables en la toma de decisiones éticas, es decir, para situaciones teóricas hipotéticas. Sin embargo, en la vida real de los seres humanos, lo que se plantean comúnmente son problemas (es decir, escoger dentro de muchas posibilidades).

El tercer momento es el de los deberes. La ética trata específicamente de los deberes; un error muy difundido es que la ética trata de valores, pero no es así, al menos, no directamente. Los deberes exigen la realización de valores; luego, los valores son el soporte de los deberes. Hay un deber de hacer investigación, como también hay un deber de proteger a los seres humanos que participan en investigación o aquellos que podrían beneficiarse de la misma; también hay un deber de cuidado para con el medio ambiente (no meramente porque sea

522 Koivisto WA. Moral judgments and value conflict. Philosophy of Science 1955;22(1):54-57.

conveniente o necesario para el animal humano, sino porque el medio ambiente también es soporte de valores). Pero existe un problema: al estimar el valor de la investigación se desea que se impulse, pero no puede hacerse investigación a toda costa, ya que anularía otros valores. Los valores son una especie de guía para un mundo ideal, lo que "debería ser", algo irreal que pide realizarse en la realidad; son la base de proyectos vitales y horizontes de vida buena, de vida feliz, de vida en plenitud. Pero en el mundo de los hechos, de lo cotidiano, se busca lo que "debe" hacerse en el caso concreto (por ello, puede no autorizarse un ensayo clínico, o incluso suspenderse); frecuentemente, un valor debe ceder un poco ante otro. Esto será finalmente el contenido de la obligación en un caso particular. No se trata de un relativismo, como erróneamente puede interpretarse, puesto que no es cuestión de aplicar cualquier cosa al caso concreto, sino de intentar realizar el mundo ideal que plantean los valores en el mundo real. La ética no busca lo bueno, ni siquiera lo mejor; busca lo óptimo, la excelencia, y ello implica darle la mayor aplicación posible al mundo ideal en el mundo real, aunque no se logre del todo. El desarrollo de la investigación en nanomedicina encierra valores; ¿debería realizarse? Por supuesto. ¿Debe realizarse a toda costa, en cualquier circunstancia? Desde luego que no. Por ello hay que hacer evaluaciones detalladas de cada caso concreto.

Así pues, los deberes siempre son la exigencia de realización de valores. Un deber siempre es realizar un valor. Luego, los valores son el soporte de los deberes. En este sentido es como la ética trata sobre valores: a través de los deberes. Por ello es necesario hacer algunas precisiones sobre los valores, en tanto que los deberes exigen realizar valores[523].

[523] Gracia D. La cuestión del valor. Madrid: Real Academia de Ciencias Morales y Políticas; 2011. Se trata de un exquisito y espléndido análisis del tema de los valores; Gracia ha ido madurando sus propuestas respecto de lo que es la bioética, y poco a poco ha dejado de hablar de principios (que ya no los analiza como tales, si

Desgraciadamente, el ser humano no tiene la capacidad de realizar todos los valores que estima de un modo pleno, completo o absoluto, por lo que se ve forzado a realizar opciones de valor, a preferir un valor antes que otro, siempre que se le presentan conflictos de valores. La búsqueda de lo óptimo implica el intento de realizar los valores de un modo pleno, aunque no sea factible lograrlo del todo. Esa es una gran paradoja de todo ser humano: toda vida moral, en el fondo, es una vida moral frustrada, toda vez que nadie hace todo lo que "debería" hacer, aunque siempre haga todo lo que "debe" hacer. A esto se le ha denominado "brecha moral"[524].

Además, la axiología ha estudiado algunas características de los valores, clasificándolos en dos grandes grupos. El primero es el de los valores instrumentales, o valores por referencia, ya que por medio de ellos se consigue otro tipo de valor; los ejemplos abundan en la atención a la salud: toda herramienta utilizada para establecer un diagnóstico o para brindar un tratamiento son valores instrumentales. Son tales porque su valor no es por ellos mismos, sino porque valen en tanto que sirven para conseguir otro valor que lo es en y por sí mismo: la salud. Desde esta perspectiva, la nanotecnología corresponde a un complicado universo de valores instrumentales[525].

---

acaso como valores), para desarrollar el tema de los valores. Toda esta sección sobre los valores se apoya una y otra vez en consideraciones que realiza Gracia con mayores pormenores.

524 Hare JE. The moral gap. New York: Oxford University Press; 1996.

525 Smith CA. Technology and value theory. PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association 1980; Volume Two Symposia and Invited Papers: 481-490. Verbeek PP. The moral relevance of technological artifacts. En: Sollie P, Düwell M. (Eds.) Evaluating new technologies. Heidelberg: Springer; 2009. p. 63-77.

El segundo grupo es el de los valores intrínsecos, los cuales son aquellos que son valiosos por sí mismos; un ejemplo fundamental para quienes se dedican a la atención a la salud es precisamente la salud, como acaba de mencionarse. A este punto suelen darse muchas vueltas, pero si se analiza desde esta perspectiva queda un poco más claro. La salud ha sido definida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como «un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades»[526]. Podría hacerse toda una historia e intento de explicación del uso de la palabra "bienestar", pero no es el momento ni el lugar. Lo que intenta hacerse es destacar que lo central en la definición es un valor (bienestar-malestar). Con lo que ya se ha dicho, ese bienestar, en tanto que valor, está soportado por hechos (de naturaleza biológica, psicológica y social, cuando menos, según la definición de la propia OMS). El deber de todos, pero en particular de los profesionales de la salud en tanto que expertos en el conocimiento del proceso salud-enfermedad, es realizar el valor salud, en general, o en áreas específicas (como la salud mental, la salud reproductiva, la salud sexual, etcétera).

La axiología también ha mostrado que los valores tienen una jerarquía; de inferiores a superiores corresponden a los siguientes según Diego Gracia: materiales, vitales y espirituales. Esta jerarquía se basa en el tipo de soporte de los valores. Los valores materiales están soportados por todo aquello que tenga materia (grande-pequeño, caro-barato); una piedra preciosa y un grano de arena soportan este tipo de valores. En la atención a la salud abundan los valores de esta natura-

[526] La cita procede del Preámbulo de la Constitución de la Organización Mundial de la Salud, que fue adoptada por la Conferencia Sanitaria Internacional, celebrada en Nueva York del 19 de junio al 22 de julio de 1946, firmada el 22 de julio de 1946 por los representantes de 61 Estados (Official Records of the World Health Organization, Nº 2, p. 100), y entró en vigor el 7 de abril de 1948. La definición no ha sido modificada desde entonces.

leza, como ya se ha mencionado (además, son valores instrumentales, ya que se están al servicio de conseguir valores intrínsecos, como lo es la salud e incluso la vida). Puede observarse que tanto nanates como nanites corresponden a valores materiales.

Los valores vitales son soportados por todo aquello que tiene vida (vida-muerte, salud-enfermedad, dolor-indoloro); la realidad llamada "piedra" soporta valores materiales, pero no valores vitales; la realidad llamada "cobaya" soporta valores materiales (puesto que tiene materia), pero soporta también valores vitales (en tanto que es materia viviente). Una piedra no puede enfermar; una cobaya puede ser cara o barata.

Los valores espirituales, están soportados por la vida humana (sagrado-profano, justo-injusto); en otras palabras, solamente las realidades humanas pueden ser soporte de valores espirituales. Hay que identificar esta peculiaridad de los seres humanos: tienen materia, y soportan valores materiales (grande-pequeño); tienen vida y soportan valores vitales (salud-enfermedad, vida-muerte, placer-displacer); y cuentan con algo peculiar que les hace ser soporte de valores espirituales.

Los valores tienen otras varias características; una típica, ya se dijo, es que entran en conflicto y generan así problemas éticos. Un hecho suele soportar muchos valores, y los valores a su vez soportan los deberes concretos, ¿qué debe hacerse en cada situación específica? De acuerdo a lo enunciado, realizar los valores, todos. ¿Es posible realizar todos los valores, de forma plena, y al mismo tiempo? Está claro que no. Existen varias dificultades: generalmente hay problemas para la realización de un valor de forma plena (por eso existe la guerra y no solamente la paz, existe la enfermedad y no solamente la salud, etcétera; es decir, en el mundo siempre existen los contravalores); otra dificultad es que no es posible realizar al mismo tiempo todos los valores. La responsabilidad humana consiste, entre otras muchas cosas, en elegir cuáles valores realizar, el orden para realizarlos, y hasta dónde realizarlos.

En este momento puede recordarse que los valores plantean el mundo de lo que "debería" ser, el horizonte de felicidad y vida buena; pero cuando los valores entran en conflicto, ese horizonte se aleja, puesto que no es posible realizar todos los valores, de forma plena, al mismo tiempo. No es para decepcionarse de la propia vida moral, ya que se mencionó que existe el mundo de lo que "debe" hacerse, y en este mundo es donde la responsabilidad tiene un papel crucial. Cada uno debe hacer algunas cosas, aunque no haga todo lo que debería hacer; la citada "brecha moral". Saberlo aumenta la propia responsabilidad, para seguir en esa búsqueda perenne de lo que debería ser.

En un plano un tanto más concreto, puede comprenderse que la atención a la salud sea tan difícil en el plano ético: el valor salud-enfermedad entra fácilmente en conflicto con valores inferiores (materiales, como caro-barato), y también entra en conflicto fácilmente con valores superiores (espirituales, como sagrado-profano). Los conflictos en cuestiones de administración de recursos para la atención a la salud son un ejemplo claro y típico de los conflictos entre valores materiales y el valor vital salud-enfermedad. Los conflictos con las creencias religiosas, como pueden ser la negativa de algunos pacientes a algunos procedimientos médicos (vacunas, transfusiones, etcétera), son ejemplos claros de que el valor vital de salud-enfermedad entra en conflicto con valores espirituales. Todo esto es aplicable en el complejo universo de la nanomedicina.

La figura 2 intenta resumir de forma esquemática esta propuesta de fundamentación de la ética (que puede extenderse a la bioética, la nanoética, y la nanobioética).

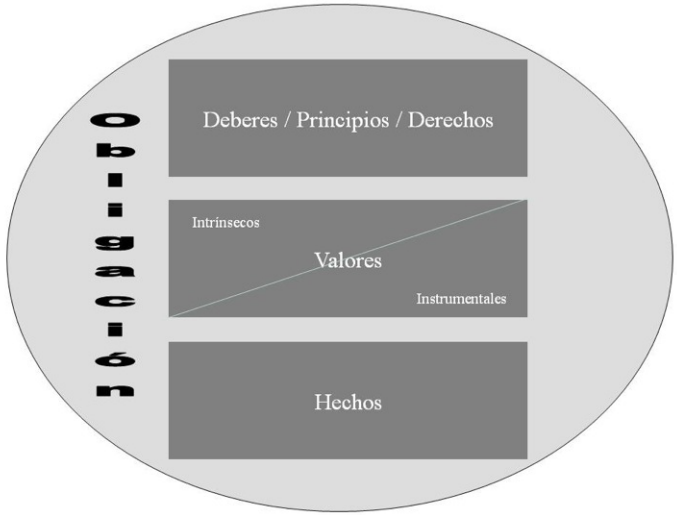


Figura 2. Esquema de fundamentación de la ética propuesto por Gracia (Fuente: Elaboración propia basado en Gracia D. La cuestión del valor. Madrid: Real Academia de Ciencias Morales y Políticas; 2011.)

5.5.2. La metodología de la ética

Con esta fundamentación, Gracia propone la deliberación moral como el correlato metodológico para resolver conflictos de valor es decir, problemas éticos. Gracia ha analizado la deliberación como proceso y como procedimiento[527]. En este trabajo solamente se realizan algunas consideraciones respecto a la deliberación como proceso, ya que las cuestiones procedimentales quedan fuera de los objetivos de este texto.

[527] Gracia D. La deliberación moral: El método de la ética clínica. Medicina Clínica (Barcelona) 2001;117(1):18-23. Gracia D. Ethical case deliberation and decision making. Medicine, Health Care and Philosophy 2003;6(3):227-233.

Dice Gracia que hay tres formas de entender la deliberación: una en sentido lato y otra en sentido técnico. Esto es solamente el inicio de la polisemia del término, ya que dentro del sentido técnico, habría dos formas: una impropia y una propia o estricta[528].

En sentido lato, deliberar significa en español, según el DRAE «Considerar atenta y detenidamente el pro y el contra de los motivos de una decisión, antes de adoptarla, y la razón o sinrazón de los votos antes de emitirlos». Con ello se puede entender un par de cosas: primero, la deliberación se utiliza en un tipo de razonamiento, el llamado práctico (hay otros tipos de razonamiento), y segunda que se puede deliberar sobre un problema en general, o sobre un problema moral; en otras palabras, hay deliberaciones no morales[529].

Puede decirse que la deliberación tiene algunas notas características: se trata de un razonamiento práctico; su objetivo es la ganancia de conocimiento para proponer soluciones a problemas concretos; por lo anterior, debe evaluarse el contexto (las circunstancias específicas del caso) y las consecuencias que pueden preverse; esto traduce que se delibera, siempre, sobre el futuro; lo anterior acarrea que, por necesidad, la deliberación es contingente e incierta; si la deliberación no provee certeza, siempre se ve afectada por la incertidumbre; esto significa que la deliberación es la búsqueda de la razonabilidad, algo así como la racionalidad de la incertidumbre (evidentemente, se trata de una actividad racional). Esto muestra que la deliberación es la lógica de la vida, y que esta lógica indica que la mente humana busca más soluciones razonables en situaciones de incertidumbre, que afirmaciones rotundas o inapelables. La deliberación también muestra que las posibles soluciones a un problema son múltiples, siempre que estén basadas en

528 Gracia D. La deliberación moral. Boletín de la Academia Chilena de Medicina 2001;XXXVIII:29-45.

529 Isaacs T, Jeske D. Moral deliberation, nonmoral ends, and the virtuous agent. Ethics 1997;107:486-500.

razones de peso dadas por los argumentos (es decir, que sean razonables, más que racionales); el razonamiento deliberativo es el mundo de la "opinión" (quien delibera puede y debe expresar sus opiniones, aunque no se queda en ellas, ya que entre la opinión y la argumentación existen horas de lectura y reflexión). Finalmente, esto presupone el diálogo (la opinión más fuerte será la que tenga más y mejores argumentos para soportarla; cualquiera puede tener razón, pero nadie tiene toda la razón: los otros siempre enseñan al tener otros conocimientos y otras perspectivas del mismo problema tratado; visto así, se trata de un procedimiento radicalmente democrático[530]).

Gracia ubica el sentido impropio en Platón, y le llama impropio ya que «determina en qué sentido o de qué modo hay que tomar decisiones morales a partir de principios, valores, normas, leyes, etcétera. Este modo es el apodíctico o demostrativo»[531]. Acto seguido hace una brillante exposición del tema, centrando la teoría de la deliberación en Platón en el libro IV de la *República*. En síntesis, la deliberación en Platón «se caracteriza por ser apodíctica, ya que deriva necesariamente de unos principios o ideas que tienen carácter inmutable, necesario y eterno, y además elitista y paternalista, ya que está al alcance de muy pocos, aquellos que por naturaleza están llamados a gobernar a todos los demás»[532].

Gracia habla sobre la deliberación en el sentido técnico, esto es, filosófico, pero de modo estricto (ya no impropio). Menciona la obra

---

530 Tema que trata en varios lugares, Gracia Guillén D. Democracia y bioética. Op. Cit.

531 Gracia D. La deliberación moral. Boletín de la Academia Chilena de Medicina. Op. Cit. p. 32.

532 Gracia D. La deliberación moral. Boletín de la Academia Chilena de Medicina. Op. Cit. p. 36. "Apodíctico", significa en español según el DRAE "Incondicionalmente cierto, necesariamente válido". Proviene del latín apodictĭcus, y este del griego ἀποδεικτικός, demostrativo.

de Vlastos[533] para ubicar a Sócrates[534], el maestro de Aristóteles en la deliberación (si bien Aristóteles fue discípulo directo de Platón, en este tema es más socrático que platónico; fue mejor intérprete de Sócrates que el propio Platón). El método de Sócrates fue el *élenkhos*[535]. La tesis de Sócrates «que probablemente procede de los sofistas, es que las verdades propias de las cosas humanas dependen de creencias nunca demostrables del todo, y que además no son iguales en todos los seres humanos. De ahí que la vida moral no consiste en uniformar a todos de acuerdo con unas mismas normas, sino en respetar las diversidad de opiniones y creencias, bien que exigiendo a todos coherencia y razonabilidad, es decir, prudencia»[536].

---

533 Gregory Vlastos (27 de julio de 1907; Estambul, Turquía – 12 de octubre de 1991; Berkeley, California, EEUU). Erudito en filosofía antigua; obtiene su doctorado bajo la dirección de Alfred North Whitehead. Autor de múltiples trabajos sobre presocráticos, Sócrates y Platón, muchos considerados clásicos en el tema. Además, varios de sus estudiantes se han convertido en nuevos eruditos en filosofía clásica, como Terence Irwing, Richard Kraut, Frank A. Lewis, Paul Woodroof y Alexander Nehamas. El trabajo al que hace referencia Gracia es Vlastos G. Socratic studies. New York: Cambridge University Press; 1994.

534 Sócrates (470 a. C. – 399 a. C.). Filósofo griego, uno de los tres pilares de la filosofía griega clásica junto a su discípulo Platón y a Aristóteles. No escribió nada, así que la interpretación de su pensamiento es indirecta, a través de los *Diálogos* de Platón, de las citas de Aristóteles (quien, aunque no lo conoce directamente, hoy se reconoce que sus datos e interpretaciones pueden ser mas acercadas al pensamiento socrático), de los datos históricos de Jenofonte (aunque con algunos errores), y de la comedia *Las Nubes* de Aristófanes, donde se le ridiculiza y se le coloca como un sofista.

535 Además del trabajo que cita Gracia, puede consultarse una referencia breve sobre el tema, escrito por Vlastos previamente, en: Vlastos G. The Socratic elenchus. Journal of Philosophy 1982;79(11): 711-714. Se trata de la comunicación que Vlastos presentó originalmente para la 79ª Reunión Anual de la División Occidental de la Asociación Filosófica Americana. Vlastos habla del "elenco habitual" como el método seguido por Sócrates (para diferenciarlo de un "elenco indirecto").

536 Gracia D. La deliberación moral. Boletín de la Academia Chilena de Medicina. Op. Cit. p. 39-40.

Aristóteles reconoce que existen diferentes clases de ciencias (teóricas, prácticas y productivas), diferentes tipos de conocimiento (científico o demostrativo, y opinable o probabilístico), diferentes tipos de lenguaje para argumentar (apodíctico o filosofema, dialéctico o epiquerema, retórico o entimema, y sofístico o erístico), diferentes métodos (deductivo y deliberativo), y diferentes grados de verdad (certeza y prudencia). A las ciencias teóricas, como las matemáticas, les es exigible un conocimiento demostrativo; pero a las ciencias prácticas, como la política o la ética, les es exigible un conocimiento solamente opinable. Las primeras ciencias son, por la razón de su tipo de objeto de estudio, ciencias apodícticas; las segundas, son ciencias probabilísticas. Las primeras utilizan un lenguaje demostrativo, mientras que las segundas ciencias utilizan un lenguaje dialéctico. Por ello es que el lenguaje propio de la ética no es la demostración ni los argumentos apodícticos, sino la dialéctica con argumentos probabilísticos. La expresión de opiniones a través del diálogo es un intercambio de razones y argumentaciones que aspiran a ser prudentes, pero no ciertas. En ética no existen (ni pueden existir) demostraciones o certezas, ya que las acciones humanas en algunas ocasiones se pueden realizar y en otras no, o pueden realizarse de un modo o de otro. Por ello es que la metodología debe ser la deliberación, no la deducción. La ética no busca certeza o verdad, sino prudencia. No es posible exigir certeza en ninguna solución posible a un problema ético generado por la aplicación de la nanomedicina.

Además de los argumentos dialécticos, dice Aristóteles que hay que utilizar otro tipo, los argumentos retóricos. Los argumentos retóricos buscan persuadir de lo probable (de ahí la moralidad de su uso, ya que si se cae en discutir solamente por el hecho de discutir, en otras palabras, si se utilizan los argumentos sofísticos, éstos son totalmente inmorales); la persuasión se consigue llegando a las emociones. Las emociones no son completamente racionales, eso está claro; pero esto

no hace que no puedan ser razonables, por el contrario, hay un deber moral de hacerlas razonables. Las decisiones morales en el fondo, en la realidad, atienden tanto a razones como a emociones, y ambas hay que hacerlas razonables, lo más que se pueda, para poder deliberar adecuadamente. Además, las decisiones morales no pueden ser prudentes si son exclusivamente racionales o puramente emocionales. La prudencia, entonces, no está en el orden de la verdad apodíctica (como las matemáticas), sino en el orden de los argumentos dialécticos (racionales) y retóricos (emocionales), utilizados ambos adecuadamente.

Por todo ello es por lo que la deliberación es un modo de conocimiento práctico en Aristóteles, un modo de conocimiento en sí mismo. Dice Aristóteles: «¿Se delibera sobre todas las cosas y es todo susceptible de deliberación, o sobre algunas cosas la deliberación no es posible? Y debe llamarse susceptible de deliberación no aquello sobre lo cual podría deliberar un necio o un loco, sino aquello sobre lo cual delibera-ría un hombre dotado de inteligencia. Pues bien, sobre lo eterno nadie delibera, por ejemplo sobre el cosmos, o sobre la inconmensurabilidad de la diagonal y el lado. Tampoco sobre lo que está en movimiento, pero acontece siempre de la misma manera, o por necesidad, o por naturaleza, o por cualquiera otra causa, por ejemplo sobre los solsticios y salidas de los astros. Ni sobre lo que unas veces sucede de una manera y otras de otra, por ejemplo sobre las sequías y las lluvias. Ni sobre lo que depende del azar, por ejemplo sobre el hallazgo de un tesoro. Tampoco sobre todas las cosas humanas: por ejemplo, ningún lacedemonio delibera sobre cuál sería la mejor forma de gobierno para los escitas. Porque ninguna de estas cosas podría ocurrir por nuestra intervención; pero deliberamos sobre lo que está a nuestro alcance y es realizable, y eso es lo que quedaba por mencionar. En efecto, se consideran como causas la naturaleza, la necesidad, el azar, y también la inteligencia y todo lo que depende del hombre. Y todos los hombres deliberan sobre lo que ellos mismos pueden hacer. Sobre los conocimientos rigurosos

y suficientes no hay deliberación, por ejemplo, sobre las letras (porque no vacilamos sobre el modo de escribirlas); pero sobre todo lo que se hace por mediación nuestra aunque no siempre de la misma manera, deliberamos; por ejemplo, sobre las cuestiones médicas o de negocios, y más sobre la navegación que sobre la gimnasia, en la medida en que la primera está más lejos de haber alcanzado la exactitud, y lo mismo sobre todo lo demás, pero más sobre las artes que sobre las ciencias, porque vacilamos más sobre las primeras»[537].

Si un conflicto ético es un conflicto de valores, resulta claro que un conflicto nanobioético será aquel que resulte de un conflicto de valores en la relación entre nanotecnología y biotecnología (donde se ha ubicado a la nanomedicina). De este modo es que en el proceso de la deliberación moral hay que deliberar acerca de los hechos, los valores y los deberes para con el problema moral concreto.

Finalmente, en las cuestiones procedimentales, los seres humanos deben considerar que, como hijos del tiempo histórico contemporáneo, hay que asumir que la razón que ya no es, ni puede ser "pura". Evaluar la calidad moral de un curso de acción ante un problema ético tiene como término la prudencia, no la certeza, de modo que es posible errar[538]. La prudencia «consiste en la toma racional de decisiones en condiciones de incertidumbre»[539]. Si se tuviesen todas las perspectivas posibles de un mismo problema, la incertidumbre desaparecería; pero eso no es posible. De ahí el por qué varios conceptos aristotélicos

---

537 Aristóteles. Ética a Nicómaco. Libro III, 3: 1112a 18 – 1112b 9. (Texto de la edición bilingüe traducida por María Araujo y Julián Marías. Aristóteles. Ética a Nicómaco. Madrid: Centro de Estudios Políticos y Constitucionales; 2002. p. 36-37.)

538 Aunque con una visión psicologista, que evidentemente no es la que se toma aquí, puede revisarse Wiland E. Psychologism, practical reason and the possibility of error. Philosophical Quarterly 2003;53(210):68-78.

539 Gracia D. Como arqueros al blanco. Op. Cit. p. 419.

hayan sido rescatados en el siglo xx, tales como "razón práctica", "deliberación" y "prudencia". Son términos que el racionalismo despreció. Además, los procesos de globalización hacen que el mundo siga en la dirección del multiculturalismo y el pluralismo moral, por lo que la deliberación se va convirtiendo en obligada en la sociedad contemporánea, para procesos éticos y políticos[540]. Grandes problemas actuales son aquellos donde las decisiones son legales, pero carecen de una legitimidad que les confiera fuerza. ¿Quiere decir esto que siempre se podrá deliberar? No. Quiere decir que eso es lo que se debe buscar. La deliberación presupone el diálogo, y éste presupone muchas cosas, entre ellas un supuesto contra-fáctico del lenguaje: la equidad de los interlocutores. Esto es, si no se puede establecer el procedimiento, hay que buscar las condiciones que generan la posibilidad de que se pueda dar adecuadamente. Los retos aumentan

5.5.3. Nanotecnología y atención a la salud bajo esta perspectiva nanobioética

Como se dijo en la sección anterior, un hecho soporta valores, y los valores soportan deberes. Sin embargo, hay que hacer algunas precisiones. La primera es que no hay hechos "puros", es decir, no hay

[540] Baste revisar, por poner algunos ejemplos: Cortina A. Bioética cívica en sociedades pluralistas. Revista de Derecho y Genoma Humano 2000;12:21-27 (reimpreso en: Cortina A. Bioética cívica en sociedades pluralistas. Revista Selecciones de Bioética 2003;4:67-71). Turner L. Bioethics in a multicultural world: medicine and morality in pluralistic settings. Health Care Analysis 2003;11(2):99-117. Turner L. Bioethics in pluralistic societies. Medicine, Health Care and Philosophy 2004;7(2):201-208. Durante C. Bioethics in a pluralistic society: bioethical methodology in lieu of moral diversity. Medicine Health Care and Philosophy 2009;12(1):35-47.

hechos que no tengan nada que ver con valores. Desde la obra de Hume[541], y por diversos derroteros, se llegó a creer que los hechos podían estar aislados de los valores[542]; la idea de una ciencia "pura" es su máxima expresión. El científico trabaja sólo con "hechos". Pero la visión dicotómica entre el hecho y el valor ha colapsado, y hoy parece evidente que no es fácilmente sostenible, basta analizar someramente las propuestas de Putnam[543]. Así, el análisis de las propuestas realizadas por la nanotecnología en la atención a la salud no pueden estar consideradas sobre hechos aislados, descontextualizados, "puros": no es admisible decir que la nanotecnología es "buena" o "mala", sin más, ya que se cae frecuentemente en este error. Además, hay que recordar que se dijo que los hechos, de forma sencilla, son datos de percepción. Esto es cierto, pero en parte. Los hechos que se consideran como

---

541 David Hume (7 de mayo de 1711 - 25 de agosto de 1776; Edimburgo, Escocia). Filósofo, economista e historiador. Sienta las bases del empirismo moderno. La referencia fundamental a este respecto es el *Ensayo sobre el entendimiento humano*.

542 Athanasopoulos C. Fact-Value distinction. En: Grayling A, Pyle A, Goulder N (Eds.). Continuum Encyclopedia of British Philosophy, Vol. 2. London & New York: Thoemmes Continuum; 2006. p. 1047-1048.

543 Hilary Whitehall Putnam (31 de julio de 1926; Chicago, Illinois, EEUU - 13 de marzo de 2016; Arlington, Massachussetts, EEUU). Uno de los filósofos más prolíficos e importantes de la posguerra. Ha hecho aportaciones destacadas a la filosofía de la mente, la filosofía del lenguaje y la filosofía de la ciencia. Es conocido por aplicar el mismo grado de escrutinio a sus propias teorías filosóficas que a las de otros, pues las somete a un riguroso y continuo análisis. Como consecuencia de ello ha adquirido la reputación de cambiar con cierta frecuencia la postura que defiende. La obra por revisar corresponde a Putnam H. The collapse of the fact/value dichotomy and other essays. Cambridge, MA: Harvard University Press; 2002. Versión en español disponible en: Putnam H. El desplome de la dicotomía hecho valor y otros ensayos. Barcelona: Paidós; 2004. Desde luego, siempre hay detractores de una postura; una crítica a las observaciones de Putnam en Angelides A. The last collapse? An essay review of Hilary Putnam's "The collapse of the fact/value dichotomy and other essays". Philosophy of Science 2004;71(3):402-411.

"científicos", al menos desde el positivismo, son hechos tremendamente construidos: se perciben muchos datos, pero luego se procesan y se analizan de diferentes maneras. Para intentar dejarlos en la mayor "pureza" posible, se utilizan las matemáticas. Hoy decir que una tasa de natalidad o de mortalidad es tal, depende de análisis numéricos a los que se ha llegado por medio de grandes construcciones, y se les considera hechos. Los hechos se construyen. Todo lo que pueda decirse de la nanotecnología, la nanobiotecnología o la nanomedicina como un "hecho", es producto de una enorme construcción. Estas construcciones se han legitimado mediante los consensos de lo que se considera como "científico" o no. Por otra parte, Gracia ha destacado que una de las grandes aportaciones de la bioética (como modelo de ética aplicada) a la ética en general, es precisamente el análisis de los hechos. La nanobioética no podría ser una excepción. Ciencia y moral se apoyan en hechos, pero no solamente en ellos, y no de la misma manera. En la actualidad no es posible desdeñar un análisis riguroso de los hechos antes de evaluar valores y deberes.

La segunda aclaración es que los valores tampoco son "puros", es decir, no existen unas esencias o cualidades abstractas, desligadas de los hechos del mundo, inmovibles e inobjetables. Así se creyó en toda la obra fenomenológica del objetivismo axiológico, con Scheler[544] y Hartmann[545] a la cabeza, y que hoy prácticamente nadie acepta, salvo algunos

[544] Max Scheler (22 de agosto de 1874; Munich, Alemania - 19 de mayo de 1928; Francfort del Meno, Alemania). Filósofo alemán de gran importancia en el desarrollo de la filosofía de los valores, la sociología del saber, la antropología filosófica, y la filosofía de la religión. Junto a Heidegger, se convierte en uno de los primeros fenomenólogos que no siguen el método fenomenológico tal y como lo concibe Husserl. Elabora toda una teoría sólida y original de los valores y la ética, sobre todo en su obra *Der Formalismus in der Ethik und die materiale Wertethik*, 1916. Versión en español Scheler M. Ética. Madrid: Caparrós; 2001.

[545] Nicolai Hartmann (nacido Niklāvs Hartmanis; 20 de febrero de 1882; Riga,

círculos religiosos[546]. De esta manera, los valores también se construyen; los valores corresponden también a enormes construcciones. Desde luego, no son construcciones que se realicen arbitrariamente, ya que están los hechos sobre los cuales se apoyan. En otras palabras: decir que no todo el mundo entiende lo mismo por belleza, no invalida que todo el mundo pueda estimar algo como bello. Si los hechos se construyen mediante consensos, los valores se construyen mediante la deliberación.

La tercera aclaración es que los deberes tampoco son "puros". En la actualidad un código deontológico no tiene razón de ser si no es para realizar valores soportados por hechos. La realización del deber por el mero deber es una meta del idealismo, insostenible hoy en día. Desde luego, no se trata de caer en la "falacia naturalista"; bajo este

---

Letonia - 9 de octubre de 1950; Göttingen, Alemania). Filósofo alemán del báltico. Estudió también filología clásica, medicina y astronomía. De 1921 a 1926 es profesor ordinario en Marburgo; le sucederá Martin Heidegger. En 1926 publica su *Ética*. Hartmann N. Ética. Madrid: Encuentro; 2011.

546 Particularmente el cristianismo católico, estando las raíces en una temprana interpretación del pensamiento de Scheler; véase Jordan MC. The theological axiology of Dietrich von Hildebrand. Logos: A Journal of Catholic Thought and Culture 2001;4(2):66-77. Esto continuó en la obra de Karol Wojtyla (Juan Pablo II), a través de su interpretación fenomenológica; véase Kochler H. The phenomenology of Karol Wojtyla: On the problem of the phenomenological foundation of anthropology. Philosophy and Phenomenological Research 1982;42(3):326-334. Además, la obra ética de Wojtyla asume la interpretación de Scheler dada por von Hildebrand; véase Ślipko T. The concept of value in the ethical thought of Cardinal Karol Wojtyla. Forum Philosophicum 2006;11:7-28. De esta forma, es común en la literatura ética católica contemporánea el hablar sobre "valores", pero entendiéndolos de esta forma, desligados de los hechos y de los deberes, por lo que no se habla de una "responsabilidad" ante los valores (como lo hace la bioética de corte secular o laico), sino de una "respuesta" a los valores (entendiéndolos como plenamente objetivos). Solamente así pueden entenderse otras formas de jerarquizar los valores, como la de Joseph de Finance de Clairbois; véase Clancy D. Valor y razón. La constitución de la moralidad en Joseph de Finance y Giuseppe Abbà. Roma: Editrice Gregoriana; 1996.

nombre denominó Moore al paso injustificado del "ser" al "deber ser". Es decir, el tremendo error consiste en extraer deberes directamente de los hechos, sin mediación alguna. Una forma adecuada sería hacer el nexo entre hechos y deberes a través de los valores. En el plano de los aspectos éticos de la nanotecnología en atención a la salud sería pues un tanto iluso hoy en día pretender que los problemas que surjan tendrán respuesta con la mera aplicación de un código deontológico.

Si no hay hechos puros, valores puros, ni deberes puros, cabría preguntarse si existen valores instrumentales "puros" y valores intrínsecos "puros". Es el momento de hacer algunas puntualizaciones para notar lo rico y complejo de este tema.

La nanotecnología correspondería, desde esta perspectiva de los valores, un conjunto de valores materiales e instrumentales. Tanto las nanopartículas que potencialmente pueden utilizarse como fármacos, o para el embalaje de los mismos, o bien para procesos de diagnóstico o aún de teranóstico, son, todas y siempre, valores materiales e instrumentales. También toda la impresionante tecnología de la que se echa mano, desde la microscopía hasta cualquier otra técnica empleada. Esa plataforma tecnológica llamada nanotecnología puede ponerse al servicio de valores intrínsecos, tales como la vida o la salud. Pero si se analiza un poco más, ya se mencionó que existen moléculas que pueden considerarse "hermosas" (valor bello-feo, como en el caso de los fullerenos), es decir, estarían soportando valores estéticos, y no solamente el instrumental que les da la propia molécula. También puede notarse que existen jarabes gustosos que pueden ser "placenteros" (valor placer-displacer, y todavía no está dicho que los posibles nanofármacos no pudieran utilizar esta vía para su administración). Aún más: en el mundo contemporáneo, donde el paciente cada vez participa más de su propio tratamiento, podría dársele a escoger si lo desea por la vía oral o de forma parenteral, como sucede con algunos antibióticos que admiten la administración intramuscular (valor

indoloro-doloroso). Pero también se puede caer rápidamente en la cuenta que no es necesario que la píldora sea bella, ni el jarabe sabroso, ni la administración indolora, como elementos definitorios de su valor instrumental. Es decir, el hecho sirve como soporte de valores instrumentales, fundamentalmente, y puede ser soporte (o no) de otro tipo de valores intrínsecos. Las moléculas que tengan actividad farmacológica o las que sirvan como embalaje en la nanoescala pueden ser horribles, un jarabe totalmente disgustoso, o existir el medicamento disponible solamente para su administración intramuscular o endovenosa. En otras palabras: los hechos suelen soportar, si bien en diferentes proporciones, tanto valores instrumentales como valores intrínsecos; sin embargo, la mayor proporción de unos sobre otros es lo que define al valor. Por eso se dice que la nanotecnología es un valor instrumental, porque el hecho, si bien soporta varios valores, los primordiales son los instrumentales.

La ética busca la excelencia entendiéndose ésta como lo óptimo (no solamente lo mejor o lo bueno). Lo óptimo, en el mundo de los valores, es su realización plena, de todos los valores sin excepción alguna. Cuando esto no es posible, ya se ha dicho, hay que intentar cuando menos no lesionar los valores. Así, una forma de buscar soluciones prudentes a problemas éticos, es la realización de valores superiores evitando lesionar valores inferiores. No es por tanto admisible proponer como curso de acción que, en nombre de la vida en general y de la humana en particular, se detenga todo proceso nanotecnológico solamente por ser valores instrumentales. Del mismo modo, no es posible el pleno desarrollo de la nanotecnología en todas sus posibles aplicaciones, si esto entra en serios conflictos con valores superiores (vitales o espirituales). En cuestiones procedimentales, tampoco es posible intentar someterse al dominio de la razón, dado que no puede ser considerada como pura en el momento actual. La prudencia sigue siendo, desde Aristóteles, crucial en estos temas.

Esto es complejo en cuanto a las cuestiones de fundamento; también lo es para las procedimentales. El tema de la deliberación sobre la nanotecnología debería incluir a todos los implicados (actuales y futuros; algo imposible); ya que el "debería" indica una idea regulativa en sentido kantiano, al menos debe incluir a la mayoría de los implicados, ya sean los científicos, los posibles beneficiados (en el caso de la nanomedicina, por ejemplo), y la sociedad civil en su conjunto. Sin embargo, dado que se delibera sobre hechos, valores, deberes y responsabilidades, rápidamente se observa la complejidad también a nivel procedimental y no solamente de su fundamento. Se necesitan algunos comentarios más a este respecto.

Una encuesta internacional se propuso investigar si se confía en los científicos[547]. Se realizó en línea a través de las páginas electrónicas de un par de revistas: *Nature* y *Scientific American* (junto a sus ediciones internacionales). El público que respondió era predominantemente culto (alrededor de una quinta parte refería contar con un doctorado[548]), siendo más de 21'000 respuestas. Los resultados son, por lo menos, interesantes.

Respecto a la confianza en los científicos puede decirse que salieron bien librados. En una escala tipo Likert (del 1 al 5: muy baja, baja, media, alta y muy alta) se solicitaba que se puntuara el grado de confianza que inspiraban algunos colectivos, obteniéndose como media: científicos 3.98, amigos o familiares 3.09, organizaciones no gubernamentales 3.09, plataformas ciudadanas 2.69, periodistas 2.57, empresas 1.78, funcionarios electos 1.76, y autoridades religiosas 1.55.

---

547 ¿Confiamos en la ciencia? Investigación y ciencia 2010;10:44-47.

548 Para darse una idea de la diferencia entre este grupo y la población general, según datos de la OCDE, en los 34 países miembros los datos indican a 2015 que un 2% de la población alcanzará el nivel de doctorado; para México es la mitad de ese promedio, es decir, apenas el 1% de la población. Disponible en URL: http://www.oecd.org/mexico/Education-at-a-glance-2015-Mexico-in-Spanish.pdf

Se ha discutido hasta la saciedad sobre el hecho de que toda forma de tecnología puede tener consecuencias indeseables (la nanotecnología no escapa a esto; por el contrario, suele atacarse con argumentos sobre esas posibles consecuencias indeseables). Al preguntarse sobre algunas tecnofobias, la encuesta reveló lo siguiente: 47% consideran que la energía nuclear debería abandonarse y reemplazarse por otras fuentes de energía limpia; 26% piensa que el gobierno debería empezar a actuar para proteger a la población sobre los riesgos de la nanotecnología; 23% no aprueba, bajo ningún concepto, la investigación biomédica con chimpancés; 22% opina que los transgénicos conllevan riesgos ambientales y sanitarios inaceptables; 12% desaprueba totalmente las investigaciones biomédicas en modelos con mamíferos; y un 8% condena las investigaciones con embriones humanos.

Pero aún hay más. Al preguntar hasta qué punto les inquietaban los riesgos asociados con la nanotecnología, más de la tercera parte no lo sabía: la nanotecnología parece ser una gran desconocida, aún entre público altamente cualificado. Si la deliberación inicia procedimentalmente deliberando sobre los hechos, resulta difícil pensar que se puede deliberar sobre un tema que incluso el público muy culto tiene gran desconocimiento.

Han existido varias iniciativas respecto al debate público sobre nanotecnología y el cómo las aproximaciones deliberativas pueden llevar a una mejor gobernanza de este tipo de tecnologías. No se trata de buscar criterios para que se acepten riesgos, al modo de entender la deliberación en sentido platónico, en donde los monarcas del saber nanotecnológico deben indicar qué es lo que hay que hacer[549]. Los resultados de varios proyectos financiado por la Unión Europea so-

[549] Godman M. But is it unique to nanotechnology?: Reframing nanoethics. Science and Engineering Ethics 2008;14(3):391-403.

bre "Ciencia y Sociedad" se exponen en un documento con distintas aproximaciones[550]. El proyecto FRAMINGNANO[551] implicó el desarrollo de un plan de gobernanza de las nanotecnologías. NANOCAP[552] fue un ejercicio de creación de capacidad, a través del cual los sindicatos europeos y las ONG ambientales adoptaron resoluciones y posiciones sobre la gobernanza de la nanotecnología. El proyecto DEEPEN[553] elaboró una ética de la nanotecnología e investigó las narrativas que subyacen en el discurso público. NANOPLAT[554] propuso una nueva plataforma de deliberación de los consumidores de productos nanotecnológicamente habilitados y, en el transcurso de esto, evaluó varios enfoques diferentes de la deliberación.

Ya se había propuesto en más de una ocasión que la deliberación debería jugar un papel importante[555], y que es necesario conocer qué piensa la sociedad civil respecto de la nanotecnología[556], pero no se había hecho investigación empírica, investigación sobre "hechos",

---

550 von Schomberg R, Davies S. Understanding public debate on nanotechnologies. Options for framing public policy. Brussels: European Commission / European Research Area / Science & society; 2010.

551 Framing Nano. Governance in Nanoscience and Nanotechnology. Disponible en URL: http://www.nanotec.it/public/attivita/pubblicazioni/

552 Nano Cap. Disponible en URL: http://www.nanocap.eu/Flex/Site/Page4662.html?PageID=%26Lang=

553 Durham University, Department of Geography. Deepening Ethical Engagement and Participation in Emerging Nanotechnologies (DEEPEN). Disponible en URL: https://www.dur.ac.uk/geography/research/research_projects/?mode=project&id=241

554 The Nanoplat Project. A deliberative platform for nanotechnologies. Disponible en URL: http://www.nanoplat.org/

555 Macnaghten P, Kearnes M, Wynne B. Nanotechnology, governance, and public deliberation: What role for the social sciences? Science Communication 2005;27(2):1-24.

556 Cormick C. Why do we need to know what the public thinks about nanotechnology? Nanoethics 2009;3(2):167-173.

tan necesaria para una adecuada evaluación ética. Se ha estado generando una hemerografía que analiza los resultados de las investigaciones, y se dice, por ejemplo, que el proyecto DEEPEN alcanzó una visión muy fina sobre las opiniones que se tienen respecto de la nanotecnología, y a la vez mostró una profunda desconexión entre la ética que se arraiga en el discurso público y los compromisos éticos y normativos que se encuentran en las prácticas y programas de investigación nanotecnológica[557].

Se ha sugerido que el contenido de las preocupaciones éticas de los laicos pueden ser entendidas como estructuradas por cinco narraciones arquetípicas: "los ricos se hacen más ricos y los pobres más pobres", "mantenerse en la oscuridad", "abrir la caja de Pandora", "jugar con la naturaleza", y "tener cuidado con lo que se desea"[558]. También se ha interpretado que las cinco narrativas que emergen pueden interpretarse con los términos antiguos de "deseo", "diabólico" y "sagrado", y con los modernos de "alienación" y "explotación"[559]. Se dice que todas estas consideraciones traerían modificaciones importantes sobre cómo entender y hacer nanoética[560] (y, seguramente, aplicaciones nanobioéticas, como las nanomédicas). En medio de todo esto, otro tipo de hechos, históricos y literarios, muestran que los escenarios planteados por nuevas tecnologías han suscitado visiones distópicas presentes, por mencionar un ejemplo, en la tecnología reproductiva[561].

---

557 Nordmann A, Macnaghten P. Engaging narratives and the limits of lay ethics: Introduction. Nanoethics 2010;4(2):133-140.

558 Davies SR, Macnaghten P. Narratives of mastery and resistance: Lay ethics of nanotechnology. Nanoethics 2010;4(2):141-151.

559 Dupuy JP. The narratology of lay ethics. Nanoethics 2010;4(2):153-170.

560 Ferrari A, Nordmann A. Beyond conversation: Some lessons for nanoethics. Nanoethics 2010;4(2):171-181.

561 No es momento de evaluar si se ha conducido prudentemente la aplicación de la tecnología en la reproducción humana, pero sí de recordar que al otorgarle

Por otra parte, el proyecto NANOPLAT hace reflexiones sobre el concepto de deliberación y los procesos deliberativos que denominan como "relevantes". Al preguntarse cuál sería una plataforma adecuada para desarrollar procesos deliberativos relevantes en nanotecnología concluyen que hay una nueva generación de procesos deliberativos[562]. El trabajo, aunque a primera vista parece adecuado y de carácter académico, es inexacto, ya que tiene errores desde el principio. Por ejemplo, al iniciar con el concepto de deliberación, se dice que «los conceptos de deliberación y procesos deliberativos han emergido del trabajo teórico sobre democracia deliberativa»[563]. ¿Por qué este olvido de Aristóteles? En principio, ninguno de los redactores del trabajo publicado sobre NANOPLAT cuenta con formación filosófica; a fin de cuentas, tal vez no lo consideraron necesario en tanto que se trataba de un proyecto sobre una plataforma de consumidores. Si ya se mencionó antes que no se deben confundir ni subsumir la ética y el derecho, sino identificar además de sus relaciones sus alcances y sus límites, pues lo mismo habría que decir sobre ética y política. Así, puede entenderse que los autores sean un politólogo, un economista, un experto en diseño estratégico y un sociólogo. A pesar de todas las imprecisiones y sesgos que puede tener el informe final, lo más rescatable es precisamente el énfasis que

el Nobel a Robert G. Edwards por sus contribuciones al desarrollo de la fecundación in vitro una de las consideraciones principales de la Fundación Nobel fue, precisamente, que los tratamientos han revelado ser seguros. Más allá del frecuentemente citado "Mundo Feliz" de Huxley, el recordar visiones distópicas en aspectos nanotecnológicos tienen que ver con mitos como el de Frankenstein [van den Belt H. Playing God in Frankenstein's footsteps: Synthetic biology and the meaning of life. Nanoethics 2009;3(3):257-268; por cierto, también presente en las tecnologías reproductivas] o el del Golem [Grinbaum A. The nanotechnological golem. Nanoethics 2010;4(3):191-198].

562 Stø E, Scholl G, Jègou F, Strandbakken P. The future of deliberative processes on nanotechnology. En: von Schomberg R, Davies S. Op. Cit. p. 53-80.

563 Ibídem. p. 55.

se otorga a que la deliberación es crucial en nanotecnología (no solamente para los consumidores). Sin duda alguna, la nanotecnología, la nanobiotecnología y la nanobioética ganarían mucho de aplicar con seriedad y de forma sistemática las aportaciones realizadas por Gracia en el terreno de la fundamentación y la metodología de la ética.

6. Resumen

Dado que el objetivo de este trabajo ha sido comentar algunos problemas éticos de la nanotecnología en la atención a la salud, esta tercera sección ha intentado relacionar la nanotecnología y la bioética. Con algunas consideraciones mínimas sobre ciencia y ética, se trata también muy someramente el tema de la tecnología y la ética, para unas notas finales, también muy breves, sobre la filosofía de la tecnología. A partir de ahí se inicia un intento de análisis sobre si la nanotecnología es una disciplina autónoma. Mediante algunas consideraciones sociológicas y antropológicas, aunadas a lo dicho en secciones previas de este trabajo, se sugiere que sí que puede tratarse de una disciplina con una autonomía tal que pudiera ameritar un análisis ético específico. Así, se analizan algunos desarrollos sobre la nanoética como una ética aplicada emergente, cuyo objeto de estudio sería la nanotecnología. Al relacionarse la nanoética con aspectos biológicos, se sugiere una nanobioética. Se propone que la nanobioética puede ser un marco de consideraciones a realizar sobre problemas éticos que surgen en la nanobiotecnología, donde se incluiría a la nanomedicina. Para un adecuado análisis, hay que identificar cuáles son problemas éticos y cuáles no lo son; se tratan brevemente algunos problemas específicos como los ensayos clínicos en nanomedicina, la relación clínica y consentimiento informado, y los efectos posibles del desarrollo de la nanomedicina en países emergentes. Al tratar los desafíos que presenta la regulación sobre estos temas, se menciona el papel que podrían jugar los comités

de ética, así como el nanobioderecho y la nanobiopolítica (a través de posibles aplicaciones del principio de precaución, la cuestión de la vigilancia y la gobernabilidad, y el papel de la democracia deliberativa en nanomedicina). Se finaliza la sección con una propuesta concreta de fundamentación y correlato metodológico de la ética, propuesta por Diego Gracia, y su posible aplicación en los problemas éticos que surgen de la aplicación de la nanotecnología en la atención a la salud.

EPÍLOGO: ¿TECNOLOGÍA PROMETEICA CON POTENCIAL PANDÓRICO?

Las posturas críticas para la tecnología se han radicalizado hasta el punto de tornarse violentas en extremo. Una visión radical y distópica de la tecnología llevó al autor[564] del siguiente texto a cometer una serie de atentados terroristas para "denunciar" a la moderna sociedad tecnológica: «16. Las partes "malas" de la tecnología no pueden ser separadas de las partes "buenas". […] 124. La respuesta habitual a tales asuntos es hablar de una "ética médica". Pero un código ético no serviría para proteger la libertad en el aspecto del progreso médico; sólo empeoraría el problema. Un código ético aplicable a la ingeniería genética tendría como resultado un intento de regulación de la constitución genética de los seres humanos. Alguien (probablemente la clase alta y media, mayoritariamente), decidiría que tales o cuales aplicaciones serían "éticas" y otras no por lo que en consecuencia, estarían imponiendo sus propios valores en la constitución genética de la población en libertad. Incluso si un código ético fuera elegido en bases completamente democráticas, la mayoría estaría imponiendo sus propios valores a una minoría que podría tener una idea diferente

564 Theodore John Kaczynski (22 de mayo de 1942; Chicago, EEUU -). Matemático norteamericano, anarcoprimitivista y neoludista; llevó a cabo actos terroristas usando bombas para "denunciar" la sociedad tecnológica moderna. A temprana edad demostró excelentes capacidades académicas (coeficiente intelectual de 167 en quinto grado). Doctor en matemáticas por la Universidad de Michigan a los 24 años; profesor asistente en la Universidad de California, Berkley, a los 25 años, dimitiendo dos años más tarde. En 1971 se mudó a una cabaña en Lincoln, Montana. De 1978 a 1995 envió 16 bombas a objetivos diversos, incluyendo universidades y aerolíneas, acabando con la vida de 3 personas e hiriendo a otras 23. Arrestado en 1996, cumple una condena de cadena perpetua.

de lo que constituye un uso ético de la ingeniería genética. El único código ético que verdaderamente protegería la libertad sería uno que prohibiera CUALQUIER ingeniería genética en seres humanos, y puede estar seguro que tal código nunca será aplicado en una sociedad tecnológica. Ningún código que reduzca la ingeniería genética a un papel menor, podría mantenerse erguido por mucho tiempo, porque la tentación presentada el inmenso poder de la biotecnología sería irresistible, especialmente desde que a la mayoría de la gente muchas de sus aplicaciones les parecerán obvia e inequívocamente buenas (eliminando enfermedades mentales y físicas, dando a la gente las habilidades que necesitan para prosperar en el mundo de hoy). Inevitablemente, la ingeniería genética será usada extensivamente pero sólo de manera consecuente con las necesidades del sistema tecnológico-industrial»[565].

El texto completo trata múltiples escenarios tecnológicos. El libro de Kurzweil *The age of spiritual machines* cita los párrafos 172 a 174,

[565] Kaczynski TJ. Industrial society and its future (también llamado el "Manifiesto Unabomber"). Disponible en URL: http://editions-hache.com/essais/pdf/kaczynski2.pdf Versión en español en Kaczynski TJ. La sociedad industrial y su futuro. Disponible en URL: http://www.paralibros.com/jonas/rpress/prubomb.htm Texto enviado en una carta a *The New York Times* el 24 de abril de 1995 con la promesa de "cesar el terrorismo" si *The New York Times* o *The Washington Post* lo publicaban. Antes de conocer la identidad de Kaczynski, el FBI usaba el sobrenombre de "Unabom" (University and Airline Bomber, Terrorista de Universidades y Aerolíneas), para referirse al caso; esto dio lugar a que los medios de comunicación se refirieran a él como "Unabomber". Evidentemente el tema del "código ético" se ha tratado mucho, pero corresponde a lo que se ha denominado como "deontología"; los códigos éticos suelen hablar de deberes, que parece ser que estuviesen por ahí sin un soporte específico en la realidad, y que de no realizarse se recibe un castigo. La ética no castiga, promueve lo mejor y evita lo peor. Por ello, cuando se ha propuesto algún código ético en nanotecología y/o nanomedicina, se ha dicho que una característica es que debería estar en constante revisión. López Goerne TM, Bolio AP. Ética para la nanomedicina. En: López Goerne TM. Nanotecnología y nanomedicina: La ciencia del futuro… hoy. Ciudad de México: Arkhé; 2011. p. 223-239.

donde el autor habla sobre el reemplazo del trabajo humano por máquinas de cómputo dotadas de inteligencia artificial. Esta parte a su vez es citada por Joy[566] en un texto que sería una de tantas visiones distópicas de la nanotecnología, evidente desde su título[567]: *Por qué no nos necesita el futuro*.

Suelen enfrentarse posturas extremas para intentar extraer conclusiones; en el caso de la nanotecnología, se enfrentaría a nanoentusiastas que pueden llegar a una nanotecnofilia irresponsable, contra los nanodetractores que a su vez pueden llegar a una nanotecnofobia poco, o peor, mal fundamentada. Los nanotecnofílicos pueden llegar a ser ingenuos acerca de las implicaciones humanas de sus proyectos, y los nanotecnofóbicos pueden llegar a ser poco realistas en su resistencia al desarrollo de nuevas tecnologías[568]. Entendido desde el enfoque de los valores, correspondería a escoger (o preferir) un valor, o bien anularlo (el valor sería la propia nanotecnología, en tanto que valor material e instrumental).

---

566 William Nelson Joy (8 de noviembre de 1954; Detroit, Michigan, EEUU -). Conocido como "Bill Joy". Científico computacional estadounidense, co-fundador en 1982 de Sun Microsystems (dirigiendo el departamento científico hasta 2003), y en 1999 de HighBAR Ventures. En 1997 fue nombrado por el Presidente Clinton como Co-Director del Comité de Consejería en Tecnología para la Presidencia de los EEUU (guía y aconseja las áreas en computación, comunicaciones e información tecnológica). Ese mismo año fue elegido para formar parte de la Academia Nacional de Ingeniería de los Estados Unidos.

567 Joy B. Why the future doesn't need us. Wired Magazine 2000;8(4):disponible en URL: http://www.wired.com/wired/archive/8.04/joy_pr.html Reimpreso en Allhoff F, Lin P, Moor J, Weckert J. Nanoethics. Op. Cit. p. 17-39. Paradójicamente, Joy cita que los ataques de Kaczynski hirieron gravemente a David Hillel Gelernter (5 de marzo de 1955 -), de quien dice ser amigo y quien es «uno de los científicos computacionales más brillantes y visionarios de nuestro tiempo». A pesar de todo esto, dice: «Veo algún mérito en el razonamiento en este único pasaje».

568 Toumey C. Plenty of gloom and doom at the bottom? Nature Nanotechnology 2009;4(7):396-397.

Ambos grupos deben considerar lo que puntualiza la UNESCO: Sus argumentos emanan de una especie de "determinismo tecnológico" que hace que tanto los partidarios como los adversarios de las nanotecnologías den por sentado que la tecnología se desarrolla de forma autónoma y queda fuera del alcance de todo control humano, social o estatal. A falta de experimentos científicos en este ámbito, el debate se polariza rápidamente: o se está a favor de la nanotecnología, o se está en contra de ella»[569].

Por otra parte, Gracia ha dicho lo siguiente: «Zubiri dijo que el animal se caracteriza por "estar ajustado" a su medio, en tanto que el hombre "tiene que hacer su propio ajustamiento". El animal vive en "justeza", decía Zubiri, en tanto que el hombre tiene que "justi-ficarse". La ciencia y la técnica pueden servirnos a este propósito. Pero pueden servir también al contrario, acabando con la especie humana, al desajustarla a su medio. Si es así el hombre habrá fracasado. El fracaso del hombre es siempre, a la postre, una cuestión moral»[570].

De este modo, la urgencia ética de la aplicación de la nanotecnología en general, y de la nanomedicina en lo particular, es la deliberación con todos los estamentos de la sociedad sobre la justificación de su uso prudente y su regulación. Existe una necesidad apremiante de una serie de acciones: mayor investigación (sobre todo de aspectos toxicológicos), mayor educación formal sobre estos temas en diversas áreas (las ciencias de la salud y las ingenierías, como mínimo), mayor difusión a la población general, además de una regulación efectiva y un desarrollo éticamente responsable de la nanomedicina. Lo demás (eliminar la muerte, eliminar la enfermedad, etcétera), al menos por el momento, es ciencia ficción.

569 UNESCO. Ética y política de la nanotecnología. Op. Cit. p. 23.
570 Gracia D. Ciencia y ética. Op. Cit. p. 76.

SOBRE EL AUTOR

Jorge Alberto Álvarez Díaz es Profesor Titular "C" por tiempo determinado del Departamento de Atención a la Salud de la Division de Ciencias Biológicas y de la Salud de la UAM Xochimilco. Premio a la Docencia 2016. Médico cirujano. Master of Sciencies in Human Sexuality, siendo Sexólogo Clínico y Educador Sexual certificado por la Federación Latinoamericana de Sociedades de Sexología y Educación Sexual. Especialista en bioética fundamental, Especialista en bioética clínica, Especialista en ética de la investigación biomédica y psicosocial. Magíster en bioética, Doctor en ciencias sociosanitarias y humanidades médicas especializado en bioética, con Posdoctorado en bioética. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores del CONACYT. Premio "Manuel Velasco Suárez" a la Excelencia en Bioética 2007, otorgado por la OPS/OMS. Mark S. Ehrenreich Prize in Healthcare Ethics Research 2014, otorgado por the International Association of Bioethics y The Pacific Center for Health Policy and Ethics at the University of Southern California. Premio "World Leader in Medical Sciences for the Benefit of Mankind" 2014, otorgado por la Asociación Mundial para la Excelencia en la Salud. Académico de Número de la Academia Nacional Mexicana de Ciencias, Artes, Tecnología y Humanidades. Miembro Numerario de la Academia Nacional Mexicana de Bioética. Académico Correspondiente de la Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid. Académico de Número de la Muy Ilustre Academia de Ciencia, Tecnología, Educación y Humanidades (Valencia, España). Académico Correspondiente de la Real Academia de Medicina y Cirugía de Cádiz. Académico Correspondiente de la Real Academia de Medicina y Cirugía de Galicia.

ASPECTOS ÉTICOS DE LA
NANOTECNOLOGÍA
EN LA ATENCIÓN A LA SALUD.
Se editó en diciembre de 2016. Se emplearon los
tipos Adobe Caslon Pro, en diferentes puntos.
Diseño y formación, Rodrigo de la Vega