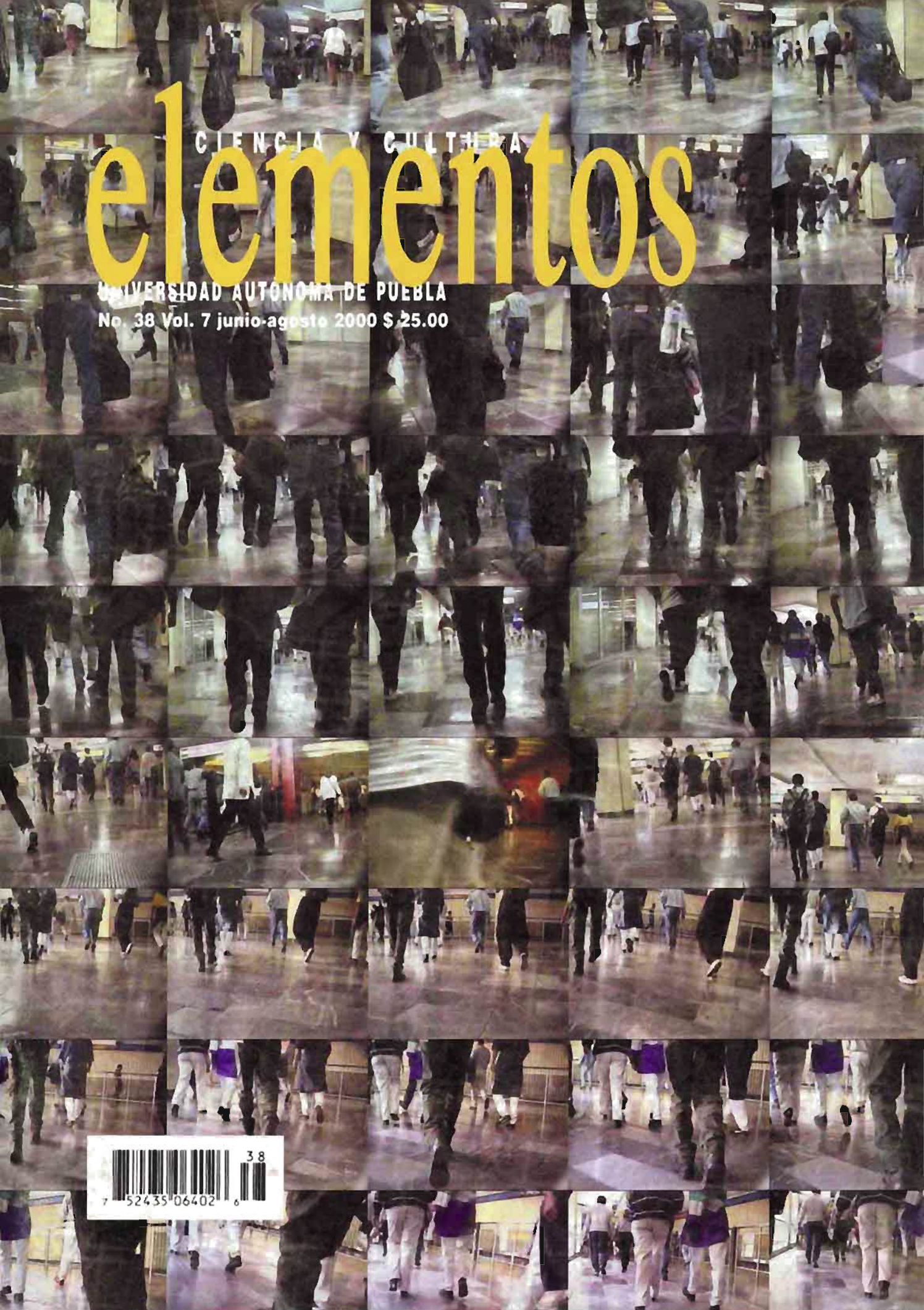


CIENCIA Y CULTURA

# elementos

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA
No. 38 Vol. 7 junio-agosto 2000 $ 25.00

38
7 52435 06402 6

© **Isaías Ortega**, *Subterráneo*, videogramas del co, 1998.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**
**rector**, Enrique Doger Guerrero
**secretario general**, Guillermo Nares Rodríguez
**vicerrector de investigación y Estudios de Posgrado**, Carlos Contreras Cruz

**ELEMENTOS**
**http://www.fisio.buap.mx/elemento.htm**
revista trimestral de ciencia y cultura
número 38, volumen 7, junio-agosto 2000
**director**, Enrique Soto Eguibar
**subdirector**, Marcelo Gauchat
**consejo editorial**, Beatriz Eugenia Baca, María de la Paz Elizalde, Enrique González Vergara, Francisco Pellicer Graham, Leticia Quintero Cortés, José Emilio Salceda, Raúl Serrano Lizaola, Cristóbal Tabares Muñoz, Gerardo Torres del Castillo
**edición**, Marcelo Gauchat,
José Emilio Salceda
**asistente**, María del Refugio Álvarez Tlachi
**diseño y edición fotográfica**, Jorge López Vela
**portada**, Isaías Ortega
**fotografías de interior**,
Isaías Ortega y Oscar Guzmán
**impresión**, Litholmpresora Portales S.A. de C.V.
**redacción**, 14 Sur 6301, Ciudad Universitaria, Apartado Postal 406, Puebla, Pue., C.P. 72570
**email**: elemento@siu.buap.mx
Certificados de licitud de título y contenido 8148 y 5770.

© **Oscar Guzmán**, de la serie Ciudad Gálvez, 1995-2000.

# S U M A R I O

**L**a historia de la teoría celular, un concepto unificador 3
PAOLO **Mazzarello**

**D**esarrollo moderno y nihilismo 9
JESÚS RODOLFO **Santander**

**O**tras narrativas, *Subterráneo* 22
CECILIO **Balthazar**

**W**erner Heisenberg, físico entre Platón y la política 25
WOLFGANG **Burgmer**

**E**l enigma de Fermat 29
JOHN **Lynch**

**C**iudad Gálvez 35
OSCAR **Guzmán**

Si 'P o no P' entonces dios existe 37
DANIEL **Vera**

**F**ijación biológica de nitrógeno 43
B. E. **Baca,** L. **Soto Urzúa,** M. P. **Pardo Ruiz**

**L**os elementos de Elementa, museo de ciencias 51
J. **Tagüeña,** K. **Luna,** N. **Bolton**

**L**ibros 58

**Oliviero Ortega** [illegible] Screenshot [illegible]

# La historia de la teoría celular, un concepto unificador

**Paolo Mazzarello**

Después de las primeras observaciones de seres vivos con el microscopio pasaron dos siglos de investigaciones antes de que la "teoría celular", la idea de que todo organismo vivo está compuesto de células o de productos de ellas, fuese formulada. Resultó aún más difícil aceptar que son también células individuales las que componen el tejido nervioso.

Con la invención del microscopio a principios del siglo XVII se pudo atisbar por primera vez el universo antes invisible de la vida microscópica. Un despliegue desconcertante de nuevas estructuras se extendía ante los ojos asombrados de los primeros microscopistas. En 1658, el sacerdote jesuita Athanasius Kircher (1601-1680) demostró que en los tejidos en descomposición se desarrollaban larvas de insectos y otros organismos. En la misma época, el naturalista holandés Jan Swammerdan (1637-1680), que descubrió que un embrión de rana está formado de partículas globulares, describó ciertos corpúsculos ovales, de color rojo, en la sangre.[1,2]

Un mundo nuevo de extraordinaria variedad, el de los microorganismos, salió también a la luz gracias a las apasionantes investigaciones de otro holandés, Antoni van Leewenhoek (1632-1723). Las partículas que vio en su microscopio eran móviles, y con la convicción de que la movilidad es sinónimo de vida, en una carta del 9 de octubre de 1676 dirigida a la Royal Society, procedió a concluir que esas partículas eran efectivamente organismos vivos. Posteriormente, en una prolongada serie de artículos, Van Leeuwenhoek describió muchas formas específicas de estos organismos (que llamó "animálculos"), en particular los protozoarios y otros organismos unicelulares.[3-5]

Sin embargo, la primera descripción de la célula se suele atribuir a Robert Hooke (1635-1702), físico inglés que fue también un distinguido microscopista. En 1665 Hooke publicó su *Micrographia*, el primer trabajo importante dedicado a la observación microscópica, y mostró lo que el microscopio podría significar para los naturalistas. Hooke describió las unidades microscópicas que componen la estructura de una lámina de corcho y acuñó el término *"cell"* o *"pore"* (en español, "célula" o "poro") para referirse a ellas. *Cella* es un vocablo latino que significa "celda". Los latinos usaban la palabra *cellulae* para designar las celdillas hexagonales de los panales. Por analogía Hooke aplicó el término "célula" a las paredes engrosadas de las células de corcho muertas. Aunque empleaba el término de manera distinta a citólogos posteriores (pensaba que las células del corcho eran vías de paso para los fluidos que intervienen en el crecimiento de las plantas), el término moderno "célula" proviene directamente de su libro.[6]

### ¿EL PUENTE ENTRE LA VIDA Y LA "NO VIDA"?

La existencia de todo un mundo de seres vivos microscópicos se veía como un puente entre la materia inanimada y los organismos vivos perceptibles a simple vista.[7] Esto parecía respaldar la vieja doctrina aristotélica de la "generación espontánea" según la cual el agua o la tierra llevan consigo el potencial para generar "espontáneamente" diferentes tipos de organismos. Esta teoría, que implicaba una continuidad entre la materia viva y la no viva, *Natura non facit saltus*, fue desmentida por los experimentos magistrales del naturalista italiano Lazzaro Spallanzani (1729-1799) que, en colaboración con otros investigadores, demostró que un organismo se deriva de otro organismo u organismos, y que existe una discontinuidad entre la materia inanimada y la vida.[8] Sin embargo, no fue sino pasado un siglo cuando Louis Pasteur (1822-1895) refutó definitivamente la teoría de la generación espontánea.[9] Como consecuencia, la búsqueda de las primeras etapas elementales en la *Scala naturae* se convirtió en un tópico del pensamiento biológico de principios del siglo XIX. ¿Qué podría ser la unidad mínima que albergara el potencial para generar vida?

> Hay un principio universal de desarrollo para las partes elementales de los organismos... y ese principio se encuentra en la formación de células.

### TEORÍA CELULAR

Hubo atisbos de la idea de que la célula es el componente básico de todo organismo vivo desde antes de 1838-1839, periodo en que la teoría celular fue oficialmente formulada. Las células no se consideraban estructuras indiferenciadas. Algunos componentes celulares, como el núcleo, se habían visualizado, y la presencia de estas estructuras en células de diferentes tejidos y organismos apuntaba hacia la posibilidad de que fuesen células de organización similar las que subyacieran a toda materia viva.

El abad Felice Fontana (1730-1805) percibió el núcleo en células epitelíales en 1781, pero es probable que esta estructura hubiera sido observada ya en células animales y vegetales en las primeras décadas del siglo XVIII.[7,10]

El botánico escocés Robert Brown (1773-1858) fue el primero en reconocer el núcleo (término que él introdujo) como constituyente esencial de las células vivas (1831). Brown observó en las hojas de las orquídeas

> una única areola circular generalmente más opaca que la membrana celular... Esta areola o núcleo de la célula, como quizá se debería llamar, no se confina a la epidermis, sino que también se encuentra no sólo en la pubescencia de la superficie sino en muchos casos en el parénquima o las células internas del tejido.[11]

Brown reconocía la presencia general del núcleo en estas células y consideraba, al parecer, la organización de la planta en términos de constituyentes celulares.

Mientras tanto se llevaban a cabo avances en la microscopía. La principal desventaja de los microscopios desde la época de Van Leeuwenhoeck era lo que ahora llamamos "aberración cromática", que disminuye el poder de resolución del instrumento cuando el número de aumentos es alto. Recién en los años 1830 se introdujeron los microscopios acromáticos, que permitieron realizar observaciones histológicas más precisas. También mejoraron las técnicas de conservación y tratamiento de tejidos.

En 1838 el botánico Matthias Jakob Schleiden (1804-1881) sugirió que cada elemento de la estructura de las plantas estaba compuesto de células o sus productos.[12] El año siguiente, el zoólogo Theodor Schwann (1810-1882) formuló una conclusión similar respecto de los animales. Declaró que "las partes elementales de todos los tejidos están formadas por células" y que "hay un principio universal de desarrollo para las partes elementales de los organismos... y ese principio se encuentra en la formación de células".[13] Se considera que las conclusiones de Schleiden y Schwann representan la formulación oficial de la "teoría celular", y sus nombres están casi tan ligados a ella como lo están los de Watson y Crick a la estructura del ADN.[4,14]

Sin embargo, según Schleiden, la primera fase de la generación celular era la formación de un núcleo "de cristalización" dentro de la sustancia intracelular (que llamó "citoblasto"), con una subsecuente extensión progresiva de este material condensado para formar una célula nueva. Esta teoría de "formación celular libre" evocaba la antigua doctrina de la "generación espontánea" (aunque como variante intracelular), pero fue refutada en la década de 1850 por Robert Remark (1815-1865), Rudolf Virchow (1821-1902) y Albert Kölliker (1817-1905) quienes demostraron que las células se forman por escisión de células preexistentes.[7] Así es como el aforismo de Virchow *Omnis cellula e cellula* (toda célula se deriva de otra célula preexistente) se convirtió en la base de la teoría de la formación de tejidos aunque en ese entonces no se comprendían los mecanismos de división nuclear.

La teoría celular impulsó una óptica reduccionista de los problemas biológicos, y se convirtió en el paradigma estructural más general de la biología. Subrayó el concepto de unidad de la vida y generó el concepto de organismos como "repúblicas de unidades elementales vivas".[7]

Además de la unidad fundamental de la vida, la célula se consideraba también el elemento básico de los procesos patológicos. Se llegó a pensar (independientemente del agente causante) que las enfermedades eran una alteración de las células en el organismo. La *Cellular pathologie* de Virchow fue el concepto patogénico más importante hasta que, en este siglo, se desarrolló la teoría de la patología molecular.

## CONSTITUYENTES PROTOPLÁSMICOS

Según la formulación de la teoría celular de Schleiden y Schwann, se consideraba que los componentes celulares eran: una pared o una simple membrana, una sustancia viscosa llamada "protoplasma" (denominación que se ha reemplazado por "citoplasma", término de Kölliker), y el núcleo. Pronto se hizo patente que el protoplasma no era un fluido homogéneo. Algunos biólogos consideraban que su fina estructura era fibrilar, mientras que otros describían una arquitectura protoplásmica reticular, alveolar o granular. Esta discrepancia se debía en parte a las imágenes artificiosas e ilusorias atribuibles a los procedimientos de fijación y coloración que provocaban una precipitación no homogénea de complejos coloidales.

Sin embargo, algunas coloraciones de componentes celulares reales condujeron a la descripción de elementos diferenciados que posteriormente fueron identificados. La introducción de la lente de inmersión en aceite en 1870, el desarrollo de la técnica de microtomo, y el uso de nuevos tintes y métodos de fijación representaron grandes mejoras para la microscopía. Hacia finales del siglo XIX se identificaron los principales orgánulos que ahora se consideran parte de la célula. El término "ergastoplasma" (reticulo endoplásmico) se introdujo en 1897;[15] las mitocondrias fueron observadas por varios autores, y fueron bautizadas por Carl Benda (1857-1933) en 1898,[16] el mismo año en que Camillo Golgi (1843-1926) descubrió el aparato intracelular que lleva su nombre.[17]

El protoplasma no era la única estructura con apariencia heterogénea. Dentro del núcleo se podían ver el nucleolo y una sustancia teñible. Además, durante la división celular aparecían algunas estructuras (cintas, franjas y filamentos). Como estas estructuras se podían teñir intensamente, Walter Flemming (1843-1905) las llamó "cromatina". Fue él también quien en 1892 introdujo el término "mitosis" y dio una espléndida descripción de todos sus procesos. Flemming observó la división longitudinal de los cromosomas (un término introducido apenas en 1888 por Wilhelm Waldeyer, 1839-1921) de la salamandra durante la metafase y estableció que cada mitad del cromosoma se desplaza hacia el polo opuesto del núcleo mitótico.[18] Este proceso también se observó en plantas, lo que proporcionó una prueba más de la profunda unidad del mundo viviente.

Sin embargo, había un tejido que aparentemente invalidaba la teoría celular: el tejido nervioso. Por ser blando y frágil era difícil de manipular y susceptible de deterioro. No obstante, su complejidad estructural impidió que se le redujera a un simple modelo derivado de la teoría celular. En la primera mitad del siglo XIX se habían observado cuerpos celulares nerviosos, prolongaciones y fibras nerviosas. Con todo, los intentos por construir una estructura tridimensional del sistema nervioso se frustraron debido a la incapacidad de determinar con precisión la relación entre cuerpos celulares (somas), procesos protoplásmicos neuronales (dendritas) y fibras nerviosas.

En un libro de Carl Deiters (1834-1863), de publicación póstuma, figuran hermosas descripciones y diagramas de células nerviosas estudiadas con métodos histológicos y microdisecciones hechas al microscopio con agujas finas.[19] Las células nerviosas de Deiters se caracterizaban por un soma, dendritas y una prolongación nerviosa (axón) que no mostraba ramificaciones. En la quinta edición de su importante libro de histología, publicado en 1867, Kölliker propuso que las células sensoriales y motoras de las mitades izquierda y derecha de la columna vertebral estaban unidas por "anastomosis" (fusión directa).[20] En 1872, el histólogo alemán Joseph Gerlach (1820-1872) amplió la noción de Kölliker al proponer que en todo el sistema nervioso central, las células formaban anastomosis entre sí por medio de una red constituida por las diminutas ramificaciones de sus dendritas. Según este concepto, la red o retículo era un elemento fundamental de materia gris que proporcionaba un sistema de comunicaciones anatómicas funcionales, un continuo protoplásmico del que se originaban las fibras nerviosas.[21]

El avance más decisivo en neurocitología y neuroanatomía se produjo en 1877 cuando Golgi descubrió la "reacción negra",[22] que anunció a un amigo con estas concisas palabras:

> Estoy encantado de haber encontrado una nueva reacción que hará ver, incluso a un ciego, la estructura del estroma intersticial de la corteza cerebral. Dejé que el nitrato de plata reaccionara con fragmentos cerebrales endurecidos en dicromato de potasio. He obtenido resultados magníficos, que espero llegar incluso a mejorar.

Esta reacción aportó por primera vez una visión completa de una célula nerviosa individual y sus procesos, que se pudieron seguir y analizar incluso a gran distancia del cuerpo de la célula. La gran ventaja de esta técnica es que, por razones aún desconocidas, un precipitado de cromato de plata tiñe de negro aleatoriamente sólo algunas células (normalmente del 1 al 5%), y no las demás, lo que permite que se hagan visibles elementos individuales del rompecabezas nervioso.

Con la ayuda de la reacción negra, Golgi descubrió las ramificaciones del axón y determinó que, contrariamente a la teoría de Gerlach, las dendritas no están fusionadas en una red. Golgi, sin embargo, no pudo superar el "paradigma reticular". Creía que los axones ramificados que se teñían con la reacción formaban una gigantesca red continua por la que se propagaban los impulsos nerviosos. En realidad, llegó a esta conclusión errónea porque creía que existía una red formada por la superposición y el entrelazado de axones de células separadas. Aún así, la teoría de la red de Golgi representó un avance sustancial porque por primera vez puso de relieve la función de los axones ramificados en la conexión entre células nerviosas.

Según Gerlach y Golgi, el sistema nervioso era la excepción de la teoría celular, pues no estaba formado por células independientes, sino por un gigantesco sincitio. La singularidad de su estructura y función podían justificar una infracción a la regla general.

Las cosas cambiaron muy rápido en la segunda mitad de la década de 1880. En octubre de 1886, el embriólogo suizo Wilhelm His (1831-1904) planteó la idea de que el cuerpo celular nervioso y sus prolongaciones forman una unidad independiente.[23-24] En la explicación de cómo los axones terminan en la placa motora y cómo las fibras sensoriales se originan en receptores periféricos como los corpúsculos de Pacini, sugería que podía hablarse de separación de unidades celulares en el sistema nervioso central. Entonces el tejido nervioso se empezó a considerar, al igual que los demás tejidos, como una suma de células anatómica y funcionalmente independientes que interactúan por contigüidad más que por continuidad.

Otro científico suizo, el psiquiatra August Forel (1848-1931) llegó a conclusiones parecidas a principios de 1887 y, en 1891, Waldeyer introdujo el término "neurona" para designar las células nerviosas independientes.[25,26] Desde entonces, la teoría celular aplicada al sistema nervioso se conoce como la "teoría neuronal".

Irónicamente, fue la reacción negra de Golgi con la que el neuroanatomista español Santiago Ramón y Cajal (1852-1934) se convirtió en el principal adepto e incansable defensor de la teoría de la neurona. Con sus investigaciones neuroanatómicas contribuyó a sentar las bases de los principios de la neurociencia moderna. Sin embargo, no se tuvo una prueba definitiva de la teoría neuronal hasta después de la introducción del microscopio electrónico, que permitió la identificación de sinapsis entre neuronas.[21] Cuando se descubrió que el sistema nervioso también estaba hecho de unidades independientes, la teoría celular obtuvo su triunfo definitivo.

### EL ESLABÓN PERDIDO

Con la teoría de la evolución, la teoría celular es la generalización más importante en biología. Sin embargo, hay un eslabón perdido entre estas teorías que impide que aparezca un concepto aun más global y unificador. Este eslabón es el paso inicial de la materia inorgánica a la célula primordial y su evolución –el origen de la vida. Si algún día se pueden recrear en el laboratorio las condiciones fisicoquímicas prebióticas necesarias para la generación espontánea de la vida, tendremos por fin a la vista el eslabón entre estas dos generalizaciones, y un paradigma unificador explicará todos los fenómenos biológicos. Entonces, la teoría de la generación espontánea será reivindicada.

## BIBLIOGRAFÍA


[1] Kircher, A., *Scrutinium Physico-medicum Contagiosae Luis Quae Dicitur Pestis* (Baueranis, Leipzig, 1658).

[2] Winsor, M.P., *Swammerdan, Jan in Dictionary of Scientific Biography* vol. 13 (ed Gillespie,C.) 168-175 (Scribner, Nueva York, 1980).

[3] Dobell, C., *Antony van Leeuvenhoek and His "Little Animals"* (Dover, Nueva York, 1960).

[4] Wolpert, L., *Curr. Biol.* 6, 225-228 (19995).

[5] Singer, S., *A Short History of Biology* (Clarendon, Oxford, 1931).

[6] Westfall, R. S., *Hooke, Robert in Dictionay of Scientific Biography*, Vol. 7 (ed. Gillespie C.) 481-488 (Scribner, NuevaYork, 1980).

[7] Mayr, E., *The Growth of the Biological Thought* (Belknap, Cambridge, MA, 1982).

[8] Spallanzani, L., *Opuscoli di Fisica Animale e Vegetabile* (Società Tipografica, Modena,1776).

[9] Pasteur, L., A. *Ann. Sci. Nat. (part zool.)* 16, 5-98 (1861).

[10] Fontana, F., *Traité sur le Vénim de la Vipère sur les Poisons Américains sur le Laurier-cerise et sur Quelques Autres Poisons Végetaux* (Florencia, 1781).

[11] Brown, R., *Trans Linnean Soc. Lond.* 16, 685-742 (1833).

[12] Schleiden, M. J., *Arch. Anat. Physiol. Wiss Med.* 13, 137-176 (1838).

[13] Schwann, T., *Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Tiere und Pflanzen* (Sander'schen Buchhandlung, Berlin, 1839).

[14] Harris, H., *The Birth of the Cell* (Yale Univ. Press, New Haven, 1998).

[15] Garnier, C., *Bibliogr. Anat.* 5, 278-28 (1897).

[16] Benda, C., *Arch. Anat. Physiol.* 73, 393-398 (1898).

[17] Golgi, C., *Boll Soc. Med. Chir. Pavia* 13, 3-16 (1898); trad. parc. Geller Lipsky, N. *J. Micros.* 155, 3-7 (1989).

[18] Flemming, W., *Zellsubstanz, Kern und Zelltheilung* (FCW Vogel, Leipzig,1882).

[19] Deiters, O. F. K., *Untersuchungen über Gehirn und Rückenmark des Menschen und der Säugetiere* (Braunschweig, Vieweg, 1865).

[20] Kölliker, A., *Handbuch der Gewebelehre das Menschen*, (Engelmann, Leipzig, 1867).

[21] Shepherd, G. M., *Foundations of the Neuron Doctrine* (Oxford Univ. Press., Nueva York, 1991).

[22] Mazzarello, P., *La Struttura Nascosta. La Vita di Camillo Golgi* (Cisalpino-Monduzzi, Bolonia, 1996); trad. Buchtel. H & Badiani, A. *The Hidden Structure. The Life of Camillo Golgi.* (Oxford Univ. Press, Oxford, en prensa).

[23] His, W., *Abhandl. Math. Phys. Class. Konigl. Sach. Gesell Wissench.* Leipzig 13, 147-209 (1897).

[24] His, W., *Abhandl. Math. Phys. Class. Konigl. Sach. Gesell Wissench.* Leipzig 13, 477- 513 (1897).

[25] Ford, A., *Arch. Psych.* 18, 162-198 (1887).

[26] Waldeyer-Hartz, H. W. G., *Deutsch. Med. Wochensch.* 17, 1352-1356 (1891).



***Paolo Mazzarello trabaja en el Istituto di Genetica Biochimica ed Evoluzionistica de la Universidad de Pavia, Italia.***



***Reproducido con permiso de* Nature Cell Biology, *Vol. pp E-13-E15. Copyright 1999, Macmillan Magazines Limited.***


***Traducción: Gertrudis Payás, asistida por Guillermina Peña.***

**© Isaías Ortega**, videogramas del video *Miércoles del co Subterráneo*, 1998.

# Desarrollo moderno y nihilismo

Jesús Rodolfo
**Santander**

Con este ensayo de reflexión situada y epocal, por cierto fragmentario, que va dedicado a quienes sienten que no todo anda bien en este fin de siglo, quiero llamar la atención sobre algunas implicaciones ontológicas contenidas en el moderno desarrollo tecno-científico y el humanismo que lo ha sustentado. Entiendo ontología en el sentido de ontología hermenéutica. Hay Ser, pero éste es en su raíz tiempo. Hay una historia del Ser. Con estos enunciados previos ya se sabe cuál es la estrella que me guía en este ensayo.

Nadie podrá negar hoy que, gracias a los avances de la ciencia y a las invenciones de la técnica, el mundo moderno ha logrado un grado de desarrollo que ha mejorado las condiciones de vida de amplios sectores de la sociedad. ¿Pero de dónde le vino a la humanidad el impulso de ponerse en la vía del progreso?

Los innumerables avances e invenciones en beneficio del hombre no parecen sino llevar a su cumplimiento el proyecto definido por el humanismo moderno. En efecto, el desarrollo tecnológico moderno del que los últimos siglos han sido testigos, se hizo en nombre de un ideal que alentaba el objetivo de poner la naturaleza al servicio del hombre y que prometía que, con el progreso continuo del saber, las condiciones de la vida humana mejorarían hasta el punto, incluso, que todos sus problemas encontrarían una solución, fueran éstos problemas de salud o económicos o políticos, o de cualquier otro tipo. Este ideal que, poniendo sus esperanzas en un saber científico y técnico, guiaría las realizaciones del hombre moderno, se expresa en el pensamiento europeo de los siglos XVII y XVIII y ya de manera inequívoca en el *Discurso del método* (1637) de Renato Descartes y en el *Novum Organum* (1620) y en la obra utópica *Nueva Atlántida* (1627) de Francis Bacon. Indicando que la investigación de la naturaleza debía descubrir las fuerzas de ésta para ponerlas al servicio del hombre y mejorar así su existencia, declarando que el hombre debía volverse dueño y señor

de la naturaleza, Descartes revelaba el carácter no especulativo sino práctico, últimamente humanista, con el que la nueva ciencia había venido al mundo.[1] En el mismo sentido algunos años antes Francis Bacon había escrito en el *Novum Organum* que hay que obedecer a la naturaleza para dominarla.[2] Ese carácter práctico se comprende mejor cuando se recuerda que no fue en las universidades en donde se enseñaban las artes liberales (el *trivium* y el *quadrivium*) –aquellas artes no utilitarias que debían aprender los hombres libres–, sino en los talleres de las ciudades de la Italia del Renacimiento en donde se enseñaban las artes mecánicas y donde los artesanos experimentaban nuevos procedimientos para dar solución a los problemas prácticos que les planteaba la pintura, la construcción de edificios, el desarrollo de la artillería, la fundición de metales, etcétera, el lugar en que se manifestó por primera vez la exigencia de un saber científico, teórico y matemático al servicio de la técnica (como el de la perspectiva o la balística, por ejemplo) y donde comenzó también a realizarse una fusión entre el saber teórico y la producción artesanal (dando origen a lo que en este trabajo llamo tecno-ciencia) de grandes consecuencias, pues no sólo implicaba la modificación de las opiniones recibidas de la Edad Media sobre el saber científico y técnico que habría de tener su primera expresión filosófica en la obra de Bacon sino que también contenía en germen la revolución técnica, científica y filosófica de los siglos XVI y XVII, que, por otra parte, ya llevaba en su seno la idea de progreso.[3] Desde entonces, y de manera cada vez más frecuente, se hablará de dominar la naturaleza para ponerla al servicio del hombre. Como se pensaba que estas fuerzas –las fuerzas de la naturaleza– sólo podrían ser conocidas por una razón metódica, tanto Descartes como Bacon se dieron a la faena de buscar un método científico que sirviera de regla en la tarea de investigación. Bacon concebirá un método inductivo, y Descartes un método analítico aplicable a toda materia de estudio que tuvo gran importancia para el desarrollo del saber moderno. Los filósofos del Siglo de las Luces completaron el ideal humanista desarrollando la concepción de un progreso continuo en la historia que incluía la idea de una permanente acumulación de conocimientos, de un progreso constante de la razón que liberaría a la humanidad de la ignorancia, resolvería sus problemas materiales y le permitiría vivir con mayor bienestar. Las obras de los filósofos ilustrados contribuyó no poco al clima de optimismo que rodeó la primera revolución industrial, antes que esta misma produjera sus propias utopías. De esta

manera, acompañó a los logros técnicos alentados por el humanismo moderno un entusiasmo creciente que llegó a su clímax en el siglo XIX.

Mas la euforia hubo de agriarse bastante con la situación del proletariado en Inglaterra y en otros países industriales ya en ese siglo, siglo que vio nacer y desarrollarse un movimiento obrero contestatario. Y de hecho, a pesar de los renovados logros de la ciencia, con el paso del tiempo poco habría de quedar de aquel optimismo que hoy parece haberse esfumado casi por completo a la vista de algunos frutos tardíos del humanismo, francamente amargos, en el siglo que está terminando. En efecto, las esperanzas suscitadas se desvanecieron y el antiguo optimismo dio paso a críticas cada vez más acerbas dirigidas unas veces a la técnica, otras a la ciencia que la sustenta, y otras, incluso, a la concepción humanista que a ambas orientó en su desarrollo, pues si estos adelantos cimentaron un desarrollo económico e industrial cuyos beneficios en algunos aspectos son innegables, tampoco podemos ocultarnos que este desarrollo creó, de otro lado, nuevos problemas –sin duda, problemas más numerosos y quizás más graves de los que resolvió– pues, al someter sin consideración los recursos de la tierra a una explotación desenfrenada, ha causado, por una parte, una disminución creciente de las reservas de diversas materias primas y de las reservas de agua potable en el planeta a la vez que una contaminación creciente del medio ambiente, provocando la desaparición anual de centenares de especies y un grave desequilibrio del ecosistema y, por otra parte, nuevas enfermedades propias de la sociedad industrial, un explosivo crecimiento demográfico y las inmensas concentraciones poblacionales de las grandes ciudades industriales, de las que forman parte sectores crecientes de desocupados, necesitados y marginales. Esas concentraciones urbanas, que constituyen hoy una masa de individuos no sólo explotables sin escrúpulo sino también manipulables por medios masivos de comunicación movidos por afán de lucro o al servicio de intereses políticos, pueden llegar a ser, si tenemos en cuenta las lecciones de la historia, un fermento potencial de regímenes totalitarios, como ya se pudo ver en el pasado con el fascismo, el nazismo y el stalinismo. También hoy, después de la caída del muro de

Berlín, esos medios masivos ponen en peligro, por no decir que vuelven ilusoria, cualquier posibilidad de auténtica vida democrática en las así llamadas sociedades "libres". En las sociedades neoliberales de hoy se manifiesta, en virtud de la capacidad que las nuevas tecnologías ponen al servicio del poder económico y del poder político, una tal concentración de riqueza y de poder en pocas manos que a más de uno lleva a concebir, no sin estremecimiento, la posibilidad del advenimiento de alguna sociedad de tipo orweliana que ignore los derechos humanos fundamentales y se sirva de esas tecnologías para suprimir toda vida privada y toda libertad individual. No se puede descartar esa eventualidad como una idea descabellada o simplemente como ciencia ficción, al menos si se tiene en cuenta que los medios técnicos para algo semejante ya existen y que la alianza cada vez más estrecha que se da entre ciencia y técnica (lo que hoy suele llamarse "tecno-ciencia") entre tecnología y dinero, entre dinero y poder político se codea, en este fin de siglo, con un ilimitado afán de lucro y con un cínico desprecio por los derechos humanos que no requiere de pruebas pues se exhibe impúdicamente a diario en cada rincón del planeta. Piénsese, además, que una parte de la humanidad ha sufrido regímenes totalitarios de algún tipo, que lo que ha ocurrido una vez no es imposible que *mutatis mutandis* ocurra de nuevo. Sentimos, entonces, que estas situaciones de los tiempos modernos, inéditas en la historia de la humanidad, ponen en peligro lo humano y nos preguntamos de dónde viene que el moderno desarrollo haya tomado un carácter tan negativo. ¿Acaso de la investigación científica y técnica?

No negaremos el papel que la investigación científica y técnica ha jugado en la producción de algunos aspectos francamente negativos del proceso de desarrollo moderno. Para convencerse de la responsabilidad del científico basta, en efecto, pensar en el papel decisivo que desempeñó la investigación científica y técnica en la producción de nuevas armas de aniquilación masiva en el siglo que termina. El siglo xx ha tenido, en efecto, incontables oportunidades de contemplar que, junto al uso a veces benéfico para la humanidad derivado, entre muchos otros, de los descubrimientos del radio, del rayo láser, o de invenciones como las del motor de combustión, del motor de reacción, del control remoto –admitamos, incluso, de la energía atómica–, se desarrollaba de manera no menos significativa un uso tecnológico destructivo de los mismos. Sin el saber tecno-científico no sería pensable, en efecto, el desarrollo y producción de armamentos performantes para un comercio como el de las armas, que ha tenido un gran impacto económico en un siglo en el que las transacciones comerciales de la industria militar alcanzaron un inmenso volumen al filo de carreras armamentistas y al precio de innumerables vidas humanas cobradas en guerras que no perdonaron ningún continente. Tampoco se puede disociar la tecno-ciencia de la ingente destrucción del ecosistema (piénsese, para no citar más que un ejemplo, en las ciudades invadidas por el automóvil) por obra de una explotación económico-industrial que siempre necesita y puede disponer de los nuevos hallazgos e inventos producidos por el ingenio de científicos y técnicos. De cara a la situación que vivimos no puede negarse que el desarrollo científico y técnico de las fuerzas productivas ha sido también un desarrollo de fuerzas destructivas –destructivas para la naturaleza y para la humanidad. Aunque comenzó animado por el propósito de poner la naturaleza al servicio del hombre, fuerza es reconocer que el moderno saber tecno-científico ha terminado por ejercer, junto a una acción indiscutiblemente benéfica, una creciente acción destructora, cada vez más poderosa, sobre la naturaleza y el hombre mismo, que no sólo ha dado un mentís a las promesas del humanismo moderno al que estaba ligado desde el comienzo, despertando muchos interrogantes sobre su verdadero significado, sino que también despierta muchas dudas sobre su propia naturaleza, de modo tal que, si queremos aclarar nuestra situación –y éste es nuestro propósito– debemos dirigir la atención hacia un dominio más esencial y ampliar el cuestionamiento.

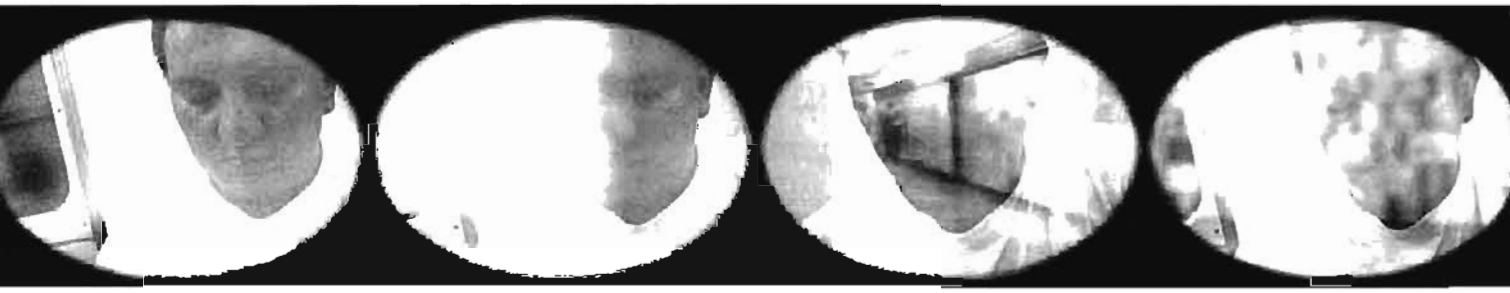
¿Es exclusivamente en la tecno-ciencia, saber no neutro, en donde hay que buscar la raíz de la situación que vivimos? ¿No hay que pensar en otros factores? Desde luego hay otros factores que no podrían ser ignorados por una investigación fáctica, pues, aunque se acepte que la tecno-ciencia ha sido el agente decisivo del cambio de mundo operado en los cuatro últimos siglos, las transformaciones vertiginosas de la naturaleza y de la sociedad ocurridas no serían explicables si no se tiene en cuenta la intervención de diversos factores, geográficos, económicos, políticos que, sirviendo al mismo elan de la época, han coadyuvado también a su cumplimiento. De acuerdo con nuestro propósito,

deben interesarnos menos aquellos factores que el elan por el que están llevados y, en ese elan, sobre todo la fuente que le da origen, esto es, los acontecimientos que, aunque habitualmente olvidados, sin embargo siguen estando en su base, ejerciendo un efecto sobre él y dándole su sentido, y a los que podemos llegar retrocediendo por diversos caminos, sea siguiendo el hilo conductor de la acción política o económica o religiosa, sea el de la tecno-ciencia. Si se ponen ante la vista algunos aspectos de estos acontecimientos, tal vez ya no sea tan absurdo pensar que fue menos por apartarse del ideal humanista que la tecno-ciencia aportó su contribución decisiva a la errancia de los tiempos modernos que, precisamente, por permanecer fiel a ese ideal. ¿Debe, entonces hacerse responsable al humanismo moderno por la situación que acabamos de evocar? ¿Debe incluso responder por el nihilismo de la época? ¿No será acaso él mismo una expresión de ese nihilismo? ¿No dan testimonio de ese nihilismo los aspectos negativos del moderno desarrollo tecno-científico? ¿Bajo su aspecto más visible, el humanismo no implica en sí, en su reverso, aspectos que aunque ya no son visibles, no han dejado por eso de ser quizás los más determinantes? ¿Su afirmación del hombre, no es solidaria de una negación? ¿El mismo humanismo no está determinado por algún acontecimiento más decisivo? ¿Cuál es, en suma, el sentido del tal humanismo?

La primera dificultad para responder a esta pregunta está en saber qué camino tomar para sacar a luz el sentido implicado en las transformaciones del mundo humano de los tiempos modernos, pues tal sentido –del que esperamos obtener una mejor comprensión de tales transformaciones– no se ofrece a la vista inmediatamente. Al contrario, se nos esconde, en pleno día, en la selva enmarañada de descubrimientos científicos e innovaciones técnicas, de acontecimientos espirituales y de transformaciones económicas y sociales, de modificaciones del entorno natural y de la percepción humana de ese entorno, cambios, éstos, que no dejaron intacta ninguna de las dimensiones de la existencia humana. Los

frutos de los cambios modernos impulsados por la tecno-ciencia están a la vista, pero su sentido último se nos esconde. ¿Cómo entonces acceder a él?

Lo que quiero sostener en este trabajo es que para rescatar este sentido debe volverse –como las mismas cuestiones planteadas lo sugieren– al "lugar" en el que el citado humanismo y el saber tecno-científico dan sus primeros pasos en los albores de los tiempos modernos, puesto que si los árboles no dejan ver el bosque, conviene retrotraerse al origen, a los gestos inaugurales, a los actos fundadores de una época, pues en ellos todavía son accesibles los acontecimientos en los que se torma el proyecto por el que la época se va a dejar orientar, determinar en su conjunto. Convendría entonces volver ahora al paso de una época a otra y considerar luego (de manera sumaria, pues no hay tiempo para más) algunos hechos de carácter religioso, filosófico, científico y político, en los que ya se anuncian los caracteres decisivos del humanismo moderno y tratemos de interpretarlos, por una parte, refiriéndolos al nuevo puesto que el nuevo hombre ocupa en la totalidad del ente, por otra parte, atendiendo a las formulaciones del pensamiento filosófico en el que la nueva comprensión de su estar en el mundo se expresa. Esto último porque creo que la filosofía es, como decía Hegel, una época puesta en pensamientos; lo que puede ser libremente interpretado de esta manera: algo que es vivido y comprendido o, si se prefiere, precomprendido por el hombre de una época, puede llegar –y a veces llega– a la explicitación filosófica. La precomprensión precede, así, a la explicitación y a la formulación filosófica, e inversamente, algunos de los pensamientos que se expresan de manera filosóficamente tan decantada en Descartes,



© **Iszias Ortega**, videogramas del video *Lunes del on Subterráneo*, 1998.

Bacon, Kant, Feuerbach, o Nietzsche, no comienzan siempre con ellos sino que, como más bien habría que decir, culminan en ellos después de haberse abierto un camino hacia ellos "con pasos de paloma", de manera que algunos aspectos esenciales con el que el humanismo moderno se fue mostrando en el curso de los tiempos modernos, fueron encontrando en su obra una adecuada expresión filosófica. (Nietzsche decía que "los pensamientos que gobiernan al mundo vienen con pasos de paloma".) Pero volvamos ya la atención al paso de una época a otra, antes de detenernos en algunos pocos acontecimientos espirituales significativos.

Creo que podemos hablar de un humanismo medieval –desde luego, bien diferente al moderno– que, fundado en las enseñanzas del Génesis, reconocía al hombre –rey de la creación– un alto puesto entre los seres creados. A la conciencia del medioevo, el verdadero ser del hombre se mostró –piénsese en las *Sumas* de Tomás de Aquino, por ejemplo– menos por referencia a las criaturas que por referencia a Dios, fundamento último y centro de la cosmovisión medieval. En ésta, la verdadera medida del hombre estuvo dada más por la situación fundamental en la que éste se encontraba frente al Dios creador que por el lugar que ocupaba entre las criaturas, pues, ¿cuál fue, en efecto, el estatuto ontológico de las criaturas en la experiencia de vida del hombre medieval, digamos por ejemplo, en la experiencia cristiana de vida? Sacado por Dios de la nada, el ser creado llevaba la marca de una radical contingencia. La existencia del mundo pendía de la voluntad inescrutable del creador; también el destino del hombre, su salvación o perdición eterna. La religión revelaba al hombre medieval esta situación de radical contingencia como su manera de estar re-ligado a Dios. Su teología se la ex-plicaba.[4] Frente al ser infinito de Dios, bien podía decirse que el de las criaturas era nada. En las palabras de Abraham, que frente a Jahvé decía no ser más que "polvo y ceniza",[5] el hombre de entonces pudo encontrar seguramente la traducción de su propio sentimiento ("sentimiento de criatura") de no ser más que "nada".[6] De los designios de Dios sólo podía tener alguna noticia por la revelación y por la Iglesia, autoridad máxima en cuestiones de fe. La razón debía subordinarse a la fe, así como, en el plano de las grandes disputas doctrinales que tuvieron lugar en las universidades medievales, la razón filosófica debía subordinarse a los fines de la razón teológica. La Filosofía era *serva theologiae.* De manera comparable, temerosos de la excomunión, la muy temida arma de la Iglesia en la época, príncipes, reyes y emperadores, debían someter sus diferencias al Papa, cabeza visible de la Iglesia.

Con los monasterios que se expandieron por toda Europa se desarrolló en el seno de la cristiandad medieval una forma de vida por la que será profundamente impregnada. Me refiero a la vida monástica, cuyo ideal ascético, podría quizá resumirse con el "*Ora et labora*", el célebre lema del monasterio benedictino de Montecasino fundado en Italia al comienzo del siglo VI. Obedeciendo a ese ideal, los monjes medievales unieron la oración y el estudio al duro trabajo del campo. De alguna manera ese ideal sintetizaba la herencia griega de una vida contemplativa con la maldición del Génesis –maldición a la vez que mandato– del "ganarás el pan con el sudor de tu frente".

Todavía hoy el visitante puede alcanzar una huella de este ideal austero que impregnó la vida de la cristiandad en aquella época cuando visita un museo o una antigua iglesia medieval y descubre en la estatuaria o en la iconografía cristiana de aquellos tiempos, los cuerpos magros, las caras ascéticas, los ojos entrecerrados, como ausentes de este mundo, en un rostro iluminado a veces por una sonrisa tenue, como inspirada por una visión espiritual interior.

En contraste con ese mundo medieval se produce con los pintores del Renacimiento italiano, en la segunda mitad del siglo xv, un significativo cambio en la representación del mundo sensible. Sin abandonar los temas religiosos, dichos pintores vuelven su atención a los seres creados y dejan que en sus obras se muestre el esplendor de la naturaleza y sobre todo la sensualidad, el vigor y la belleza del cuerpo humano, al mismo tiempo que gracias a la "ciencia" de la perspectiva descubren, con los arquitectos florentinos, una nueva manera de representar las cosas en el espacio. Esta atención de la naturaleza y del cuerpo humano al cabo de los largos siglos de la Edad Media, ya expresa un cambio general en la orientación de los intereses de los hombres –ahora más atraídos por las cosas de aquí abajo que por las celestes– y testimonia de un desplazamiento del centro de gravedad de su existencia. Es cierto que los siglos xvi y xvii, escenario de grandes debates religiosos y de elaboraciones teológicas, no ponen en duda que Dios sea, como lo había sido en la cosmovisión medieval, el principio y fin de todas las cosas, ni menos aún niegan su existencia, pero no es menos cierto que desde entonces las cosas profanas fueron ocupando, no sólo en las preocupaciones prácticas sino también en el pensamiento teórico de los hombres, incluso entre los religiosos, un espacio mucho mayor que en los tiempos anteriores y obtuvieron de ellos lo mejor de sus esfuerzos. Con esto no quiero decir que el hombre medieval no se hubiera ocupado de las cosas terrenas sino que lo que ahora enciende la pasión humana no son las cosas sagradas sino la conquista del mundo natural y del mundo humano. Tal desplazamiento, contenido en el proyecto de conocer el mundo para ponerlo al servicio del hombre, es un acontecimiento esencial, mejor, un aspecto de un acontecimiento esencial o parte de un giro que implica otros desplazamientos, pues no sólo lleva, en el paso de una época a otra, a una mutación general de los valores sino que, de manera más decisiva, modifica en su raíz las relaciones entre sí solidarias de la existencia humana con Dios, consigo misma y con las cosas, de modo que la situación fundamental de la existencia en el conjunto del ente cambia, y también la manera en que ella comprende su ser en el mundo. Tal giro determina en general la dirección que toma el pensamiento y la acción del hombre moderno orientando en esta forma el devenir histórico de los tiempos modernos. Tratemos de precisar un poco más el sentido de esa dirección.

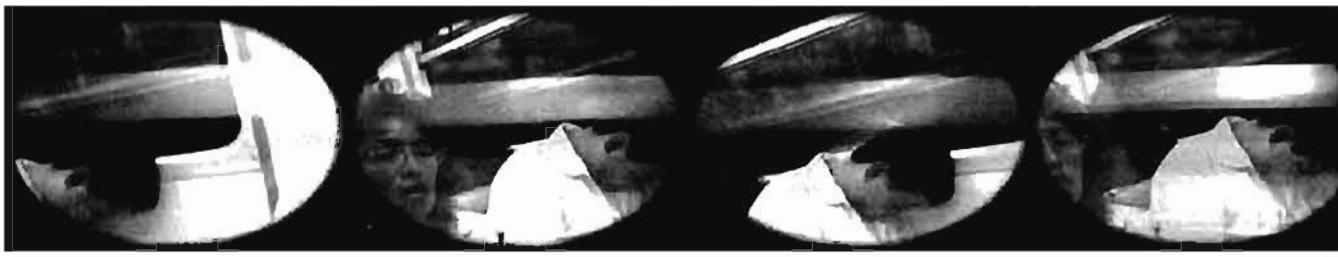
Tomando la espalda a Dios, quien con el correr del tiempo desaparecerá del horizonte de la experiencia humana, desinteresándose cada vez más de las cosas divinas y volviéndose –de una manera que será cada vez más exclusiva– sobre el ser creado, al cual tomará de manera cada vez más exclusiva como objeto y como medio para las finalidades de su voluntad, la atención del nuevo hombre toma dos direcciones principales, opuestas pero complementarias. Por una parte, la atención se orienta desde muy pronto hacia la subjetividad. Ya Petrarca, el precursor del Renacimiento que inicia el movimiento humanista en el siglo xv, se sentía conmovido por aquel pasaje de las *Confesiones* en el que Agustín de Hipona se lamentaba de que los hombres fueran a escalar montañas y a admirar su magnificencia pero que ignoraran el espectáculo interior incomparablemente más vasto que ofrecía la conciencia. En la subjetividad humana buscarán fundarse las grandes revoluciones espirituales de los nuevos tiempos; no sólo empresas religiosas como la de Lutero sino también filosóficas y científicas como la de Descartes. La subjetividad será, desde Descartes a Husserl, uno de los grandes temas de la filosofía moderna.

Pero es en el campo opuesto a la subjetividad, en el escenario de los hechos objetivos, donde se registran los cambios más espectaculares de los tiempos modernos. Aquí la atención se reparte entre el mundo humano y el natural. Desde el siglo xv al xvi el mundo europeo multiplica los viajes y los descubrimientos geográficos, conquista nuevos territorios, se sirve del telescopio para observar el cielo y describe las plantas del Nuevo Mundo, descubre culturas y lenguas extrañas, inventa y conquista, transforma el mundo religioso y político. Pueblos que habían vivido hasta ese momento ignorados en su rincón geográfico e ignorantes de la existencia de otros pueblos, encontrándose –o desencontrándose– por primera vez, entran en el cauce de la historia universal por obra de un espíritu que, buscando expandirse libremente en todos los campos (que fuera el campo de los descubrimientos geográficos, el de las invenciones técnicas, el del comercio, el de la acción política o el de la religión), soportaría cada vez menos las barreras que se levantaban a su desarrollo y las trabas impuestas por una

autoridad espiritual e intelectual cada vez más cuestionada como lo era la autoridad de la Iglesia. Era inevitable que ese espíritu de transformación naciente y creciente, que amaba la innovación y el cambio, entrara en conflicto con la autoridad y la tradición. Detengámonos brevemente, ahora, en algunos acontecimientos religiosos, filosóficos, científicos y políticos que, animados por ese espíritu, testimonian del giro señalado, pero cada uno acusando diferentes aspectos del mismo. Esto debe permitirnos dar un paso más –sólo un paso– en la aclaración del sentido del giro que encontramos en la raíz de la situación determinada por el desarrollo tecno-científico moderno con el que comenzamos nuestra exposición.

Recordemos, en primer término, las famosas tesis de Wittenberg de 1517, en las que Lutero puso en cuestión la venta de indulgencias que realizaba la Iglesia romana, hecho que lo enfrenta a la autoridad papal. Lutero será excomulgado; pero la protección que los príncipes alemanes dan al monje rebelde frente al emperador Carlos V, inicia el movimiento de la Reforma protestante, que es un hecho decisivo de los tiempos modernos. Ahora bien, en el comienzo de esa revolución está el principio de Lutero: *"Sola fide, sola scriptura"*. *"Sola fide"*: en oposición al dogma católico, para Lutero no hay justificación por las obras. Las obras que puedan nacer del hombre, cuya naturaleza está profundamente corrompida por el pecado, carecen de mérito para asegurarle la salvación. El camino de la salvación no pasa por las obras, sino por un acto de fe subjetivo, sincero e interior, que tiene lugar en la conciencia.[7] Al mismo punto somos conducidos si consideramos la segunda parte de la frase: *"Sola scriptura"*, que será el principio de la hermenéutica protestante. El libre examen que propone Lutero no necesita ningún auxilio especial del magisterio de la Iglesia ni de la tradición para acceder a la verdad de las Escrituras, pues la verdad de éstas es lo que ellas dicen a la conciencia de cada cual. Aquí encontramos de nuevo la conciencia, la subjetividad humana individual, como principio, como instancia autónoma frente a la tradición y a la autoridad externa, heterónoma, de la Iglesia. En última instancia es cada cual, en su fuero interior, el que decide, solo frente a Dios, de su pensamiento y de su existencia.

En segundo término señalemos que el principio de la subjetividad, presupuesto de la nueva religión, de la religión "moderna", que será acogido y desarrollado ante todo por la filosofía alemana y que puede rastrearse en toda la filosofía moderna,[8] encontrará expresión y rango de fundamento filosófico en el *cogito* cartesiano y en la ética autónoma kantiana, opuesta, ésta, a toda ética heterónoma. La subjetividad autónoma, que en el campo de la razón práctica es sede del imperativo categórico y en el campo de la razón teórica es sede de las estructuras *a priori* de la facultad de conocer y de los objetos del conocimiento, lleva a concebir una filosofía que no se aprende, pues consiste en el ejercicio de la propia razón, una filosofía que puede enfrentarse a toda autoridad externa, pues es un pensar libre. La filosofía de Kant contenía en ella misma, potencialmente, un enfrentamiento de la razón de los filósofos –no sólo de la práctica sino también de la teórica– con el poder político y la instancia religiosa y, en un contexto como el de la *Aufklärung*, fortalecía la posición de los pensadores ilustrados que ponían en cuestión la base religiosa sobre la que se asentaba el absolutismo monárquico europeo, dado que, en relación a la esfera práctica, frente a las opiniones recibidas y a las normas heterónomas de la moral, en suma, frente a la autoridad y a la tradición, erigía a la razón como una instancia legisladora autónoma. Como en Lutero en el dominio religioso, en Kant también habría de expresarse el giro en el dominio de la ética en el hecho de que el obrar humano ya no recibe sus normas de la tradición ni de la autoridad religiosa externa, sino de la subjetividad, en su caso, de una subjetividad racional y libre que legisla normas *a priori* universales. El último fundamento práctico debe buscarse así en la subjetividad. Pero es en relación a la razón pura teórica que Kant escribe un acto fundamental de un drama que toca a la relación del hombre con Dios, pues el concepto de Dios, al no poder ofrecer una experiencia posible, queda fuera del alcance del saber legítimo, reducido a una simple idea. Aunque la idea no es expulsada completamente del sistema kantiano, ya que es acogida en la ética como postulado de la razón práctica, sin embargo, la metafísica queda desautorizada como ciencia. Y esto significa con respecto al giro ontológico dos cosas: por una parte, reconocer que no es posible para el hombre un conocimiento de la realidad en sí de Dios, ni de las cosas, sino sólo un conocimiento de fenómenos. Dios y la realidad (dos conceptos solidarios) se alejan del horizonte del conocimiento y la me-



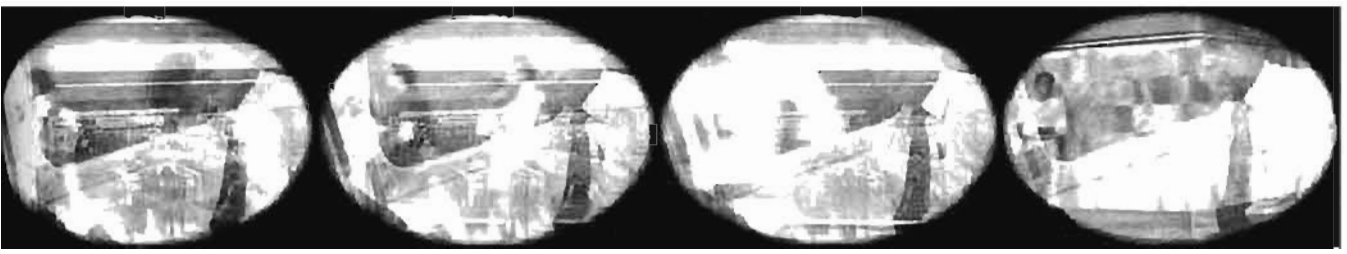
© **Isaías Ortega**, videogramas del video *Lunes del co Subterráneo*, 1998.

tafísica entra en esa crisis de fundamentos que define en líneas generales –y a pesar de Hegel– la situación en que la filosofía moderna se encuentra desde Kant en relación al saber especulativo. Por otra parte, significa que el giro kantiano abandona el saber especulativo que busca el conocimiento desinteresado de las cosas meta-físicas, para interesarse en un saber de carácter práctico y en el conocimiento de los fenómenos del mundo y en este sentido el pensamiento kantiano es perfectamente moderno. En Kant se expresaba filosóficamente –mediante "ideas", como diría Hegel– el giro que se operaba en la ciencia con Copérnico, Galileo y Newton.

Las concepciones de Copérnico constituyen un hecho de primera magnitud en el campo de los descubrimientos científicos, tanto hablarán al hombre sobre su situación en el universo, pesando gravemente sobre la concepción teocéntrica medieval y provocando una mutación en el horizonte de su comprensión del mundo. Con sus concepciones se opera un giro de carácter cosmológico de grandes implicaciones ontológicas. Con su teoría heliocéntrica, Copérnico alterará profundamente los presupuestos de la visión del mundo de una humanidad que durante mil años había creído que el universo era finito y que su centro, como lo enseñaba Ptolomeo, era la Tierra, la que no era, para la experiencia de vida medieval impregnada de religión, un sitio cualquiera, sino un lugar señalado en el cosmos por el drama bíblico de la caída y de la redención y por el acontecimiento único de la encarnación. Poniendo en el centro de su sistema al Sol y haciendo girar a la Tierra alrededor de él, Copérnico "empequeñecía" a la Tierra y hacía de ella un astro errante, que perdía sus cualidades, pues era un astro más dentro de un universo que, a la observación astronómica (que pronto dispondrá del telescopio), no mostraba sus confines, de modo que Giordano Bruno pudo llegar a pensar que su extensión era infinita. Así, desplazado de su centro y expulsado a la periferia hacia espacios infinitos y vacíos –era el pensamiento que estremecía a Pascal–[9] el nuevo hombre no podía ya sentirse como en su casa en el universo recién descubierto. No es extraño que esta visión haya sido resistida por el sentido común y combatida por los representantes de la tradición. Galileo, que adoptará abiertamente la defensa de esas teorías, será juzgado por los tribunales de la Inquisición.

En el campo del pensamiento político, Maquiavelo constituye un acontecimiento intelectual de primera magnitud. No nos referimos al funcionario al servicio del príncipe de Florencia, al personaje histórico, sino al autor de *El Príncipe*, al pensador político que adoptó una concepción diametralmente opuesta a la prevaleciente en la Edad Media, tal como ésta pudo expresarse en Tomás de Aquino o en Dante Alighieri, concibiendo lo político como una esfera autónoma con sus propias finalidades inmanentes. A diferencia del monarca tomista que, subordinando sus decretos a las normas éticas, debía procurar a sus súbditos los medios para ser felices en este mundo y eliminar los obstáculos para que alcanzaran la bienaventuranza en el otro, el príncipe de Maquiavelo, cuyo modelo fue César Borgia, no reconoce ninguna finalidad trascendente por encima de los intereses del Estado, ni debe sujetar su acción a ninguna regla moral o autoridad religiosa cuando sus intereses están en juego.[10] Maquiavelo introduce en política el concepto de razón de Estado. Su príncipe no está obligado a ser leal en sus pactos si traicionando puede salvar a su patria. Está más allá del bien y del mal. Puede mentir y asesinar, si así conviene a los intereses del Estado e, incluso, ser piadoso o simularlo, si esto le ayuda a lograr sus propósitos.[11] Lo que importa en política es la eficacia, pues "si tiene éxito, los medios se juzgarán honrosos y todos se empeñarán en elogiarlos". Cualquier medio será bueno si permite al príncipe alcanzar su fin, que no puede ser otro que el de conservar su Estado y acrecentar su poder.[12]

En el valor otorgado, por encima de toda consideración moral o religiosa, a la eficacia práctica y al éxito en la esfera de una acción política autónoma que no reconoce otro fundamento que la voluntad del príncipe ni otra finalidad que el acrecentamiento de su poder, no sólo se expresaba una relativización de todos los valores absolutos de la ética y de la religión a los que se había adherido la Edad Media, sino también –y solidariamente– un desplazamiento de la voluntad humana, promovida al rango de un absoluto, hacia el



centro ocupado por aquellos valores. La formidable violencia con que en Maquiavelo se hace patente el giro ontológico, violencia que toca sobre todo a las esferas prácticas de la política, de la religión y de la ética, chocará a la conciencia de sus contemporáneos aún conformada por la antigua tradición y provocará la reacción de la autoridad eclesiástica. *El Príncipe* será puesto en el Index. Lo que no podrá impedir que algunas de sus concepciones, como la de que el fin justifica los medios, la de la razón de Estado, de la autonomía de lo político, de la voluntad de poder como fundamento último de lo político, lleguen a convertirse en dogma para muchos hombres políticos hasta el presente y respalden los Estados nacionales y las burocracias de los siglos por venir. Pero no estoy tratando de hablar de la influencia de Maquiavelo, sino de Maquiavelo como síntoma y de la presencia de ese síntoma en los tiempos actuales, por lo tanto, no pensamos en Maquiavelo sólo como expresión del declinar del poder eclesiástico medieval y de la emergencia de los estados laicos sino, sobre todo, en vista a las implicaciones ontológicas de su pensamiento, como síntoma de un poder que no reconoce otra norma que la de acrecentarse, como expresión intelectual de la voluntad de poder que inaugura el moderno nihilismo. En este sentido, en la figura de Maquiavelo puede verse un signo que apunta, más allá de lo político, a un drama metafísico. Quiero decir: al acontecimiento que toca el nexo que liga el hombre a Dios y que, aunque menos visible, es tal vez uno de los acontecimientos mayores de los nuevos tiempos; me refiero, para usar una imagen de Martin Buber, a la entrada del Sol en su ocaso, al *eclipse de Dios*, centro de la cosmovisión teocéntrica medieval, cuya vida y cuya luz parecen irse extinguiendo a medida que la humanidad va entrando a la nueva época, apagadas por el brillo cada vez más intenso de un nuevo astro –el hombre– que poco a poco va a irse acercando cada vez más al centro de la escena.[13] O, si se prefiere la metáfora de Nietzsche a la de Buber, al acto por el cual se rompe la cadena que ata la Tierra al Sol dejándonos errar en todas direcciones, a la muerte de Dios. El loco de la *Gaya Ciencia* de Nietzsche decía: cómo, ¿no os habéis enterado? "Dios ha muerto." Y agregaba: "y nosotros lo hemos matado". "Nosotros mismos", es decir, los hombres.[14] El drama del que hablaba Nietzsche es el de la muerte de Dios en manos del hombre. Heidegger precisa que en la frase de Nietzsche "el nombre de Dios, pensado esencialmente, figura en lugar del mundo suprasensible de los ideales que contienen para esta vida el fin existente por encima de la vida terrena". Lo que quiero decir entonces es que es la muerte de Dios –tomando el término en el sentido precisado– el acontecimiento que está implicado en el giro ontológico que, iniciado a fines de la Edad Media, conduce a hacer prevalecer cada vez más las finalidades humanas por encima de cualquier otra finalidad trascendente (que provenga esta finalidad trascendente de un dios personal o de una naturaleza divina), llegando así el hombre a convertirse en el centro de gravedad de la vida moderna. El carácter antropocéntrico del giro ontológico es uno de los aspectos prominentes del acontecimiento que determinó y sigue determinando a la nueva época y, en todo caso, es un acontecimiento esencial implicado en el humanismo moderno, aunque sólo con Feuerbach, en el siglo XIX, alcance una formulación filosóficamente adecuada. En su filosofía, el giro ontológico alcanza una configuración antropocéntrica simétricamente opuesta a la del teocentrismo medieval. En efecto, Feuerbach ve al fenómeno religioso como una proyección de la esencia del hombre y diviniza al hombre entendiendo la esencia de este último como la verdadera esencia y a Dios mismo como una apariencia inesencial. Sea como fuere, lo divino todavía está para él en el hombre.[15] Pero en Federico Nietzsche se volatiliza completamente lo divino y sólo en él puede comenzarse a vislumbrar, por primera vez, adónde pueden conducir las últimas derivaciones del giro antropocéntrico. En su nihilismo activo, el nihilismo de la época se hace plenamente consciente de sí mismo. La voluntad de poder asume conscientemente el papel de Dios creando los valores.[16]

En la afirmación de la voluntad de poder del príncipe, que sustituye al Dios medieval en su rol de fundamento último del orden político, jurídico, religioso y moral –y así testimonia de su muerte–, se abre paso lo moderno en uno de sus rasgos más amenazantes. En efecto, si se hace

abstracción de lo específicamente político de su pensamiento, en el Maquiavelo que afirma la conservación y el acrecentamiento del poder del príncipe como el fin último de lo político pueden reconocerse también los rasgos fundamentales del movimiento que impulsa no sólo el desarrollo de los modernos estados nacionales y de los regímenes totalitarios, sino también el de "organismos" históricos tales como el mercado libre (y hoy global), la burocracia, la tecnociencia, la burguesía, etcétera, que buscan acrecentar el poder en sus respectivas esferas cuando persiguen las finalidades inmanentes a cada una de ellas convirtiendo en medio, o en su caso ignorando, las normas éticas –y si es posible las jurídicas– sobre las que reposan los derechos a la libertad, al trabajo, a la vida de las personas. ¿Cómo no establecer, entonces, una relación entre el pensamiento que apunta en Maquiavelo y esas esferas de poder cuya forma de desarrollo condicionan la existencia del hombre moderno y frente a las cuales éste se encuentra cada vez más desamparado? Ellas se desarrollan ignorando cualquier instancia trascendente que pueda garantizar en el mundo contemporáneo la intangibilidad de esos derechos fundamentales. No estamos hablando de una relación causal. No entendemos que la obra de Maquiavelo sea la causa de la nueva situación de lo político en el mundo, pues vemos en ella una expresión, en el campo de lo político, de una nueva relación ontológica, es decir, de otro modo de comprender el hombre su ser en el mundo, en el que se sustituye, por otro, el antiguo fundamento y en el que tiene lugar una inversión de fines y medios (para el príncipe todo puede ser medio), relación que, por otra parte, también se muestra en la mutación de las relaciones del hombre con sus objetos en el conocimiento, en la de sus relaciones con la naturaleza, en la de sus relaciones con Dios. ¿Pero cómo se manifiesta en estas otras esferas la muerte de Dios y qué consecuencias tiene este acontecimiento en nuestra situación actual?

Dejar un saber que se busca por sí mismo (ese saber del que Aristóteles decía que no había aparecido sino cuando todos las otras artes se habían desarrollado) por un saber que nos permita obedecer la naturaleza para dominarla o (como lo dice Descartes de manera aun más reveladora del fin último que la tecno-ciencia persigue) para que el hombre llegue a ser dueño y señor de la naturaleza, eso también es un caso de inversión de medios y fines (no hay fines últimos; todo se convierte en medio), ya que no se trata simplemente de usar

la naturaleza para satisfacer necesidades sino de enseñorearse de ella y dominarla, es decir, de instaurar una relación de servidumbre que ignora sus finalidades inmanentes. Recuérdese que en la investigación de la naturaleza, Bacon desecha por estéril el principio de finalidad en beneficio del principio de causalidad eficiente. El hombre moderno se priva así de un principio natural por el cual antes la actividad humana había regulado. Y esa carencia hoy se siente dramáticamente en los más diversos terrenos, pues no es ajena a la explotación desenfrenada de los recursos de la Tierra, ni a la del trabajo humano, ni a la manipulación de la opinión pública, ni al de la manipulación genética... En efecto, en el dominio de la planeación económica los hombres no son más que "recursos humanos"; en el de la explotación industrial la naturaleza no es más que "energía" o "materia prima"; en el terreno de la ingeniería genética hay científicos que no admiten ningún principio incondicionado que pueda traducirse en una norma firme que ponga un límite a las manipulaciones exigidas por la investigación. No hay nada que detenga el impulso prometeico de la tecno-ciencia, pues en la época del nihilismo no hay nada sagrado en la materia biológica manipulable. Quizá la antigua religión griega presintió la amenaza de muerte que se cernía sobre los dioses y lo sagrado en la técnica, en el *daimon* que la habita, cuando condenó a Prometeo a permanecer encadenado a la roca de una montaña, por haber transgredido un límite sagrado al desobedecer la orden divina de no dar a los hombres el fuego del cielo.

La muerte de Dios o, si prefiere, el eclipse de Dios (justificar una decisión por una u otra de estas expresiones, que por cierto no tienen idéntico contenido, exigiría más amplios desarrollos) no es un hecho que *fue* en el pasado y *ya no es*, sino un acontecimiento que ha *sido* y *sigue siendo* y determinando la época aunque lo olvidemos. El ideal humanista de poner la naturaleza al servicio del hombre implica más de lo que ese ideal reconoce explícitamente. El giro antropocéntrico que está en su raíz, implica el eclipse o la muerte de Dios.

## NOTAS

[1] Descartes, *Discurso del Método*, traducción de Antonio Rodríguez Huesca, Aguilar, Buenos Aires, 1975, pp 94-95.

[2] Bacon, F., en *Advancement of Learning. Novum Organum. New Atlantis*, Encyclopaedia Britannica, 1980, p.107.

[3] Rossi P., *Los filósofos y las máquinas* (1400-1700), Editorial Labor, Barcelona, 1970, p. 67. Ver cap. I, p. 15 y ss.

[4] En el sentido etimológico de desplegar, desenvolver, desarrollar.

[5] Génesis, I, 18,27.

[6] Otto R., *Lo santo*, Alianza Editorial, Madrid, 1980, p. 19.

[7] Lutero M., *De la liberté du chrétien*, traducción, introducción, glosario y *dossier* por Philippe Buttgen, Ed. du Seuil, París, 1996, p.38.

[8] Philippe Buttgen recuerda la influencia de la obra de Lutero sobre la filosofía alemana en "Luther, la foi, la liberté et les philosophes", en *op. cit.*, p. 149, 150.

[9] Pascal, *Pensées*, Classification de Léon Brunschvicg, E. Jean-Claude Lattes, 1988, nº 205 y 206.

[10] Arocena, Luis A., "Estudio Preliminar", en *Cartas Privadas de Nicolás de Maquiavelo*, traducción y notas por Luis A. Arocena, Eudeba, Buenos Aires, 1979, p. XVII-XXI.

[11] "...*un señor* prudente no puede ni debe mantener la palabra dada cuando tal cumplimiento se vuelva en contra suya y hayan desaparecido los motivos que le obligaron a darla... Además, jamás le han faltado a un príncipe motivos legítimos con los que disimular su inobservancia... Pero hay que saber disfrazar bien tal naturaleza y ser un gran simulador y disimulador: y los hombres son tan crédulos, y tan sumisos a las necesidades del momento, que el que engaña encontrará siempre quién se deje engañar." Nicolás Maquiavelo, *El Príncipe*, traducción de Helena Puigdoménech, Ed, México, 1988, XVIII, p. 139.

[12] Al servicio de tal finalidad sistematiza Maquiavelo en *El Príncipe* un saber en el que domina el pensamiento del cálculo y que, aunque adquirido en el trato práctico de los asuntos de Estado y en el conocimiento de la historia, es en realidad fruto de una gran abstracción operada sobre la vida humana social (pues en ella sólo tiene en cuenta las relaciones de poder y, en éstas, lo que verdaderamente cuenta sin otra consideración es el punto de vista del poderoso). Su ciencia es un buen ejemplo de ese nuevo saber técnico que dominará la época, aplicado, en su caso, no a la naturaleza como el de Galileo, sino a la materia humana de la política. Al poderoso que conquista estados de igual lengua y tradición culturaly quiere conservarlos, Maquiavelo aconsejará "tener en cuenta dos cosas: una, que es necesario aniquilar la familia del antiguo príncipe; otra, que no hay que alterar ni las leyes ni los impuestos; de tal manera que en poco tiempo se convierta, uniéndose con el principado antiguo, en un solo cuerpo". Al que ha adquirido estados de una lengua, costumbres e instituciones diferentes, le aconseja establecer colonias en vez de ejércitos de ocupación, porque con ellas "no se gasta mucho; y sin gastos o con pocos, se envía y mantiene gente en el nuevo territorio, y se ofende tan sólo a los que se les quitan campos y casas para darlos a los nuevos habitantes, que no pasan de ser una mínima parte de este estado; y los que han sido ofendidos, al quedar pobres y dispersos, no podrán nunca hacerle mal alguno, y los demás por una parte deberían permanecer tranquilos, ya que nada se les ha quitado, y por otra no cometer ningún error por miedo a que no les suceda lo que a los que han sido expoliados. En conclusión: estas colonias no cuestan dinero, son más fieles y ocasionan menos perjuicios, y los ofendidos no pueden ocasionar daño alguno al quedar, como ya hemos dicho, pobres y dispersos. Por lo que queda claro que a los hombres o bien hay que ganarlos con beneficios o destruirles, porque se vengan de las pequeñas ofensas, de las grandes no pueden; así que la ofensa que se haga a un hombre debe ser tal que no dé lugar a venganza. Pero si en lugar de colonias se tiene gente de armas, se gasta mucho más, al tener que consumir en la guardia todas las entradas de aquel nuevo estado; con lo que la conquista acaba en pérdida, y se ofende mucho más porque se perjudica a todo el estado con los desplazamientos del ejército y de estas molestias todos se resienten y se convierten en enemigos, y son enemigos que pueden perjudicar porque vencidos permanecen en sus casas". Maquiavelo, *op.cit.*, II, pp. 76-79.

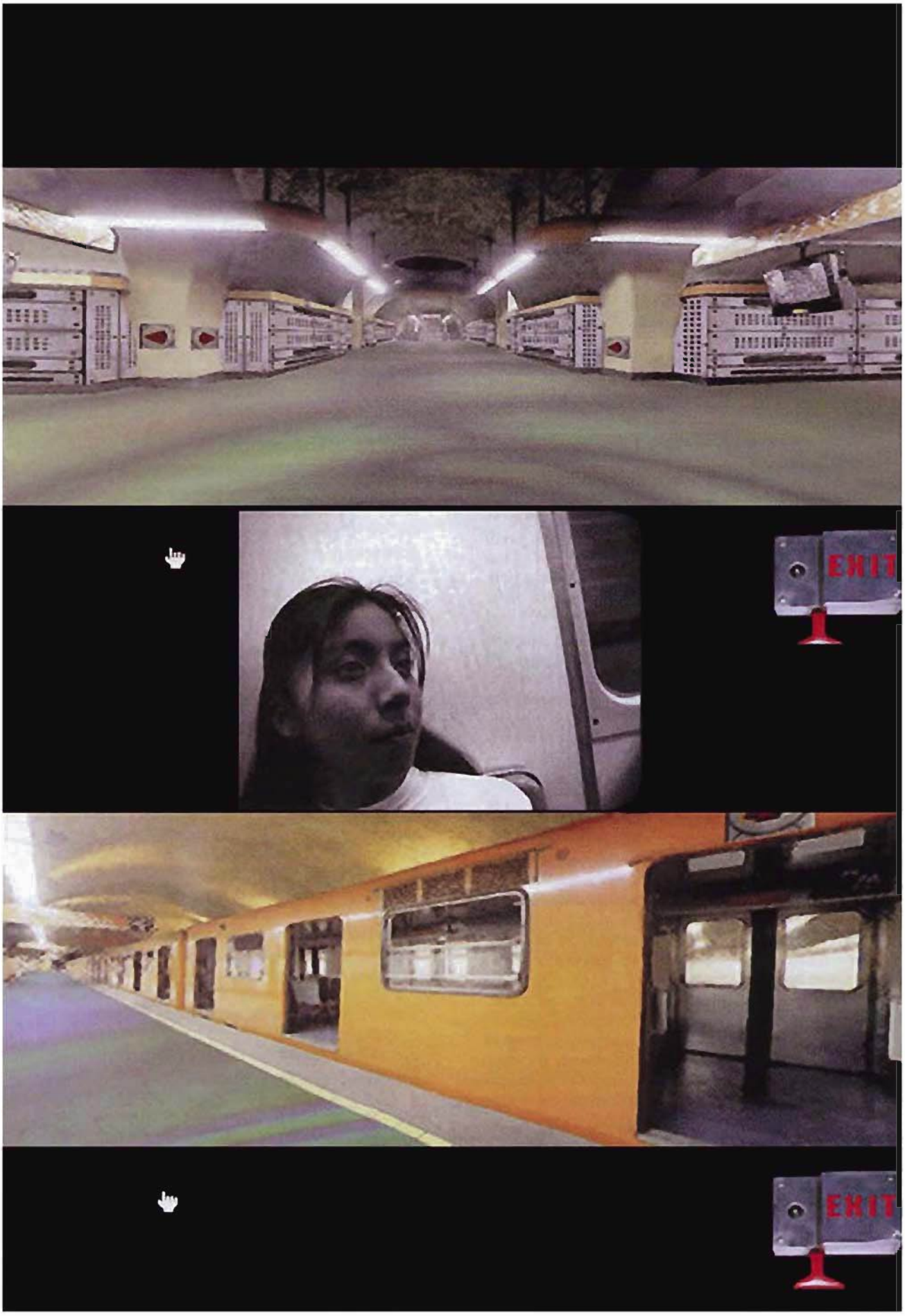
[13] Buber, M., *Eclipse de Dios. Estudios sobre las relaciones entre religión y filosofía*, Fondo de Cultura Económica, 1993, pp. 48 -49.

[14] Nietzsche, F., *La Gaya ciencia*, Fontanara, México, 1996, L. III, 125. M. Heidegger señala que "el discurso del loco dice rotundamente que la frase "Dios ha muerto" nada tiene de común con la mera palabrería y los coloquios de aquellos que 'no creen en Dios'". En tal frase "el nombre de Dios, pensado esencialmente, figura en lugar del mundo suprasensible de los ideales que contienen para esta vida el fin existente por encima de la vida terrena...". Martin Heidegger, *Sendas perdidas*, traducción J.Rovira Armengol, Editorial Losada, Buenos Aires, 1979, pp. 182-183.

[15] Feuerbach L., *Das Wesen des Christentums*, Reclam, 1971, pp. 58- 59. "La religión saca al hombre las fuerzas, las cualidades y las determinaciones esenciales del hombre y las diviniza como seres independientes –no importa que haga de cada una un ser, como en el politeísmo, o que reúna a todas en un solo ser, como en el monoteísmo...". Feuerbach, *op. cit.*, nota 3, p. 41. "*Les temps modernes ont eu pour tache la réalisation et l'humanisation de Dieu –la transformation et la résolution de la théologie en anthropologie*" Principes de la Philosophie de l'Avenir, en Ludwig Feuerbach, *Manifestes philosophiques, Textes choisis (1839-1845)*, traducción L. Althuser, PUF, 1960, 1, p. 128. "*Le mode religieux ou pratique de cette humanisation fut le Protestantisme...Le Protestantisme ne se préoccupe plus, comme le Catholicisme, de ce que Dieu en lui-meme, mais seulement de ce qu'il est pour l'homme; aussi n'a-t-il plus de tendance spéculative, comme le Catholicisme...*". *Idem*, 2.

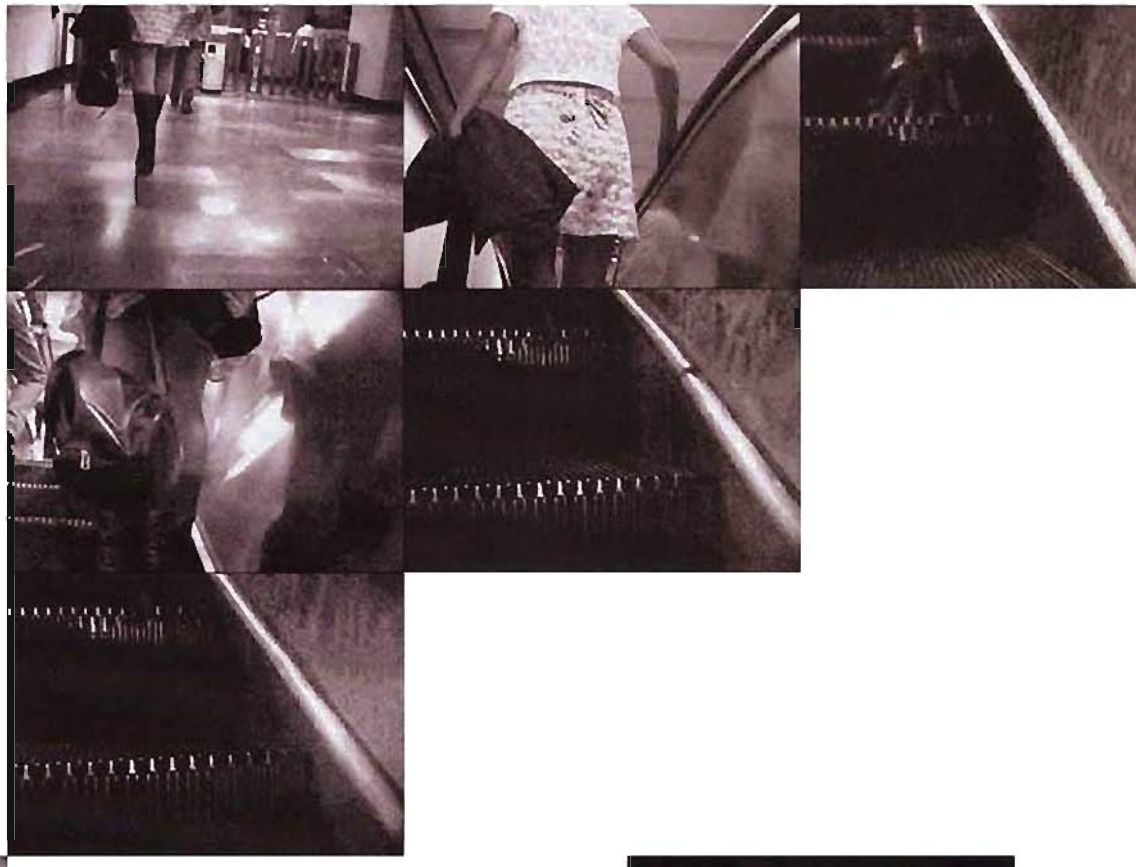
[16] "Todos los 'fines', 'metas', 'sentidos', son tan sólo medios de expresión y metamorfosis de una voluntad que es inherente a todo acontecer: la voluntad de poder. Tener fines, metas, intenciones, *querer* –en general- es querer-devenir-más-fuerte, querer crecer, y también querer los *medios para ello*." Nietzsche, F., *El nihilismo*. Escritos póstumos, selección y traducción de Goncal Mayos, Península, Madrid, 1998, 11[96]. "Resultado final: todos los valores por los que hasta ahora hemos tratado de hacernos estimable el mundo y, precisamente, por los que al final lo hemos *desvalorizado*, cuando se mostraron inaplicables, todos estos valores son, considerados psicológicamente, resultados de determinadas perspectivas de la utilidad para mantener y aumentar las formaciones de dominación humana, sólo que falsamente *proyectadas* en la esencia de las cosas...". *Idem*, 11[99] "Toda la belleza que hemos prestado a las cosas reales e imaginarias, quiero yo reivindicarlas como propiedad y producción del hombre: como su más bella apología. El hombre como poeta, como pensador, como dios, como amor, como poder: ¡sobre su real magnanimidad, con la que ha obsequiado las cosas para *empobrecerse* y sentirse miserable! Ésta fue hasta hoy su mayor abnegación: que haya admirado y adorado y haya sabido silenciar que era *él* quien había creado lo que admiraba." *Idem*, 11[87] "La única posibilidad de conservar un sentido para el concepto de 'Dios' sería: *Dios no* como fuerza motriz, sino como *estado máximo*, como una *época*... Un punto en el desarrollo de la *voluntad de poder*, a partir de aquí se explicaría tanto el desarrollo posterior como el anterior..." *Idem*, 10[138].

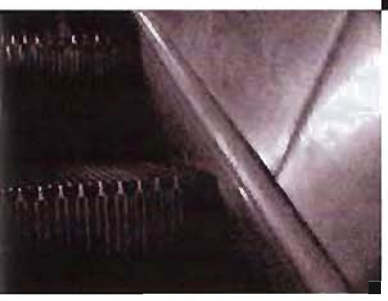
***Jesús Rodolfo Santander es investigador del Programa de Semiótica y Estudios de la Significación de la Universidad Autónoma de Puebla.***




**© Isaías Ortega**, videogramas del cd *Subterráneo*, 1998.

# Isaías Ortega





**© Isaías Ortega**, videogramas del video *Jueves* del cd *Subterráneo*, 1998

Isaías Ortega Pichardo nació el 6 de julio de 1966 en la Ciudad de México. Es egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México en la carrera de Ingeniería en Sistemas. Ha sido colaborador del periódico *El Financiero* de la sección *Fin semanario*. En 1995 ingresó al Centro Multimedia del Centro Nacional de las Artes; actualmente es jefe del taller de Sistemas Interactivos. Ha desarrollado y coordinado varios CD ROM's: *Tonalpohualli, Catálogo de locaciones, La gráfica digital en México, Catálogo razonado Francisco Toledo, Subterráneo*, entre otros. Fue cofundador del grupo de performance *Atractores* con el que se ha presentado en el X Teresa y en el Centro Nacional de las Artes. Ha impartido conferencias en varias universidades de México acerca de multimedia y OTVR, así como programas de televisión y radio. Colabora con los grupos Maldita Vencidad y Café Tacuba. Ha participado en exposiciones en nuevas tecnologías en Canadá, Estados Unidos, Argentina, México y Austria. Actualmente también diseña páginas web y desarrolla proyectos de electrónica.

Otras narrativas

# Subterráneo

**Cecilio Balthazar**

Una de las características de la nueva tecnología electrónica es la posibilidad de ofrecer sus recursos en una escala muy amplia. Podríamos decir que hay una tecnología de punta que por sus propias condiciones siempre estará a la vanguardia y, por lo tanto, en la lógica de la eficacia, la condiciona a convertirse en obsoleta. Desde este destino irremediable la tecnología electrónica satisface un amplio mercado que va desde las industrias de la guerra, de la comunicación y de la cinematografía, hasta las pequeñas empresas domésticas.

La elasticidad de la cibernética también permite experimentar la creación de nuevos objetos que desbordan las formas convencionales de los que circulan en el medio de la comunicación dominante. Es el caso de los discos compactos (CD) el que inaugura una industria de publicaciones electrónicas como una alternativa desafiante a la tradición editorial de impresos en papel. Una industria que trabaja con herramientas a diversas escalas y similares a las usadas en las grandes producciones del cine y la televisión.

Las publicaciones electrónicas se dan cita en lo social con una diversidad de funciones –publicitarias, políticas, culturales– a partir de las mismas estructuras de producción que ofrece la multimedia: la interactividad, el modelado en 3D, la manipulación de gráficos y fotografías, la combinatoria del video con la animación digital, entre muchos otros recursos de efectos especiales de sus tres dimensiones básicas, de la imagen, del audio y del texto.

Sin embargo, los usos dominantes no agotan las bondades multimedia, ya que en esa gran diversidad de objetos en formato de disco compacto aparecen otros marginales que para su producción utilizan la misma tecnología comercial para explorar otras narrativas que no son las publicitarias, ni las meramente informáticas del mundo de la comunicación de masas. Así, cualquier intento de producir objetos significantes con esta tecnología siempre estará marcado por esas condiciones estructurales. De cierta manera, éste es el principal reto para cualquier discurso multimedia alternativo.

*Subterráneo* es un CD interactivo de Isaías Ortega que busca dar una alternativa diferente a ese mundo convencional del uso abierto de las nuevas tecnologías. Un sentido de unidad en el diseño gráfico y la navegación interactiva dejan ver una intención muy clara de construir una narrativa audiovisual.

*Subterráneo* explora un relato a partir de un tema urbano que es parte esencial de la ciudad de México: el sistema de transporte colectivo "el metro". Este tema lo aborda desde una postura que no es ni turística, ni estatal, sino afectiva. Es la obra de una subjetividad que quiere decir "algo" surgido desde sus experiencias personales de usuario y tejidas por la imagen y el sonido, sin que ese algo sea, o tenga que ser, plenamente definido. Diríamos que hay intenciones no definidas que rebasan la voluntad unificadora, inflexiones que se le escapan, o que

más bien se liberan a partir de un orden posible, para que lo imposible también tenga su sitio en esa búsqueda. El autor multimedia no controla todas las instancias, porque éstas tienen una libertad narrativa que él únicamente inserta en un todo como posibilidad, pasando de la ambigüedad de las intenciones comunicativas a la mera posibilidad expresiva de un querer decir algo, al encausarlas en una coherencia unificadora capaz de incitar una lectura.

Dos espacios encontrados. UNO. Modelado en 3D. La estación virtual aparece vacía y deformada para una visión normal, la interactividad siempre nos lleva por esa desolación acentuada por la aguada perspectiva: ahí no hay nadie, ni pasajeros, ni personal, ni vendedores ambulantes, ni pordioseros. Es una estación ideal, una estación icónica en el sentido moderno de la palabra; viene a representar todas las estaciones del metro, a la vez que es un simple gráfico que sirve de botón para manipular archivos como los utilizados en los programas electrónicos. La estación es un "menú" desde el cual se abren los videos. Una cabina de control que le da al relato un acento de ciencia-ficción. DOS. Los videos dejan ver los interiores estrechos de los vagones, de las escaleras y los pasillos, a veces vacíos, otros abigarrados de pasajeros: la ficción modelada se contrapone a la realidad evocada por los videos.

Ahí domina la imagen apoyada en el sonido que le sirve de soporte dotándola de un movimiento, marcándole un ritmo, un aliento, a la manera de un murmullo surgido de la misma imagen al irse desplegando en el tiempo, también como un fondo que le pertenece como registro de la misma captura escondida a la cual está irremediablemente adherida, desde el principio. Desde el principio del relato. Desde antes que existiera en una conciencia ordenadora como elemento de otro relato. Es el sonido que había en la atmósfera cuando el cíclope mecánico soñó que su mirada era digna de ser grabada, suspendida de su tiempo originario, a cambio de que desde su escondite dirigiera la cámara.

¿Por qué digo que hay una imagen y un sonido cuando los dos registros tienen la misma presencia en el escenario de lo real? Es real porque el metro está ahí, como el ente en sí de la filosofía, independientemente que uno use ese sistema de transporte; el relato está ahí todos los días contando una parte substancial de la forma de vivir la historia de una ciudad, de una cultura: una narrativa subterránea.

¿Por qué hablo de un fondo y una figura cuando el mero registro de video, llevando en su vientre el sonido y la imagen, ya prefigura la otra ficción mostrada en el todo de la narración que hace del CD *Subterráneo* una unidad? Una unidad quiere decir una diversidad de partes y de planos, una disposición equilibrada donde cada elemento encuentra su singularidad como un todo. ¿Por qué no digo que hay un sonido en primer plano sobre una imagen que le sirve de fondo? ¿Por qué no digo que simplemente hay imagen y sonidos suspendidos en otro plano? Si quito el sonido entonces la imagen deviene plana, perdiendo la fuerza que la dimensiona. Desde su apariencia de fondo, el sonido cuida que la imagen no pierda su subversión y se vuelva documento. El sonido también tiene ahí su función constructiva, une las partes: lo registrado y lo editado. Es siendo puramente fondo que la música deja ser a la imagen un relato sin palabras, sin señales, y aun cuando aparece la palabra enunciadora, es sólo un acento, otro botón que llama a más relatos: la nota periodística, los poemas.

Enjambre de intenciones, fragmentos de relatos unidos por una voluntad unificadora que logra escapar a la doxa aventurando otra relación con la tecnología buscando otras formas narrativas. *Subterráneo* navega por todas esas intenciones del querer decir algo, de ese decir que se sabe que no es él quien tiene la última palabra. Es el simple transcurrir de un tiempo determinado donde la imagen se muestra y convoca una asamblea de relatos: el de la ciudad, el del autor y el del usuario que navega por esa inteligencia narradora que tal vez dice nada, y solamente "canta" la posibilidad pura del ser del relato.

***Cecilio Balthazar es asesor del Centro Multimedia del Centro Nacional de las Artes y maestro de la Escuela de Artes Plásticas La Esmeralda.***

© **Isaías Ortega**, videogramas del video *estación* del co *Subterráneo*, 1998.

# Werner Heisenberg, físico entre Platón y la política

Wolfgang
**Burgmer**

Mayo de 1919. En la azotea de un seminario yace un joven, disfrutando de los primeros rayos del sol primaveral. Está absorto en la lectura de *Timaios*, un texto del filósofo griego Platón, encontrándose justamente en aquella parte, en la cual el autor habla de las partículas elementales de la materia. Parece imitado, pues "ahí se afirma que las partículas más pequeñas de la materia se componen de triángulos rectangulares..." Con éstos, Platón formó cuatro diferentes cuerpos simétricos, los componentes fundamentales de los cuatro elementos: tierra, agua, aire y fuego. Entonces, la esencia de toda realidad no sería la materia, sino formas matemático-geométricas. Pero ello le parece bastante improbable al joven lector –no obstante, la idea ha prendido en él. Muchos años más tarde, evocando aquel momento, dirá: "Eventualmente, el resultado más importante de la lectura fue el convencimiento de que para entender el mundo material es necesario saber más sobre sus componentes más pequeños".

El mozo de diecisiete años, que en esas alturas está preparándose en forma poco convencional para el bachillerato, y quien, sin aún haber tomado conciencia de ello, acaba de tropezar con la tarea de su vida, es Werner Heisenberg.

A sus pies las calles de Múnich, que hasta hace sólo unos pocos días fueron el campo de batalla de los partidarios de la *Räterepublik* muniquense, es decir, de aquellos que luchaban por la instauración de un sistema comunista. En esta contienda, el joven Heisenberg había sido reclutado por los contrarios a tal régimen, los socialdemócratas.

De alumno fue testigo de cómo la sociedad aparentemente imperecedera del imperio alemán, marchaba ciega y frenéticamente a la Primera Guerra Mundial y a su término, con una derrota antes inconcebible, se desintegraba en su totalidad. Al igual que muchos de su generación, se encuentra ahora a la búsqueda de una nueva fuerza integradora. Así, se une al movimiento juvenil de los "Nuevos exploradores", quienes cifran sus esperanzas en un nuevo Reich, encabezado por un líder mesiánico que rescatará a Alemania de la decadencia de la República de Weimar, la liberará de la codicia capitalista y le ayudará a superar y a olvidar la deshonra nacional. Siempre que le es posible, busca con sus compañeros el sosiego de la naturaleza en los montes de los alrededores, para dejar atrás "el sucio negocio de la política".

Luego de rendir un excelente bachillerato, Heisenberg ya no vacila: estudiará física teórica en la Universidad de Múnich. Pero considera superfluo el pedregoso camino usual a través de las clases introductorias ofrecidas a los novatos. Desea enfrentarse, lo más rápidamente posible, a los problemas de fondo. Ya en su primer semestre universitario, este ambicioso estudiante asiste a las clases impartidas por el entonces más renombrado físico atómico alemán, Arnold Sommerfeld.

Altamente motivado y libre del lastre de las teorías instituidas, Heisenberg se embarca en la aventura de la física atómica. En las expuestas altitudes de las complejas matemáticas y la lógica abstracta, se siente plenamente a sus anchas y su liviano bagaje cognitivo le resulta incluso beneficioso. La generación mayor de sus colegas se encuentra estancada, arrastrando la carga de su sólida y clásica formación académica y sus rígidas y profundamente arraigadas concepciones; pierde el rumbo en la espesura de los experimentos y de las teorías contradictorias. No así Heisenberg, quien con un puñado de colegas que comparten su entusiasmo y talento, abre nuevos caminos a través de la fragosidad hacia la cima, abismando no pocas veces a profesores y mentores con sus osadas ideas. Múnich, Gotinga y Copenhague, en aquellos tiempos los centros europeos de la física teórica, son sus campamentos base para tomar por asalto las más altas cumbres. Copenhague, donde Niels Bohr imparte física atómica, es eventualmente su escala más importante. En el jardín infantil de Bohr, como se llama burlonamente a la fragua de futuros premios Nobel de este notable científico, Heisenberg pronto se perfila como estrella. Discutiendo generalmente hasta altas horas de la noche, durante

medio año su grupo intenta aproximarse al principio de orden del mundo de los átomos. Luego, Heisenberg retorna a Gotinga. Para curar una molesta fiebre del heno, que lo aqueja a los 23 años, busca los buenos aires y la soledad de la isla de Helgoland, donde empero tampoco encuentra paz. Si no se dedica a la física, trepa a las rocas o bien se aprende de memoria el *Diván occidental-oriental* de Goethe. Y en este estado de embriaguez espiritual y extrema tensión intelectual y física, finalmente descubre aquel esquema de orden que hace transparente el confuso cúmulo de experimentos:

> En un primer momento me alarmé. Tuve la sensación de estar mirando a través de la superficie de los fenómenos atómicos, presenciando un fondo más allá, de una singular belleza interna. Y el pensamiento de que ahora me adentraría en ese sinfín de estructuras matemáticas que la naturaleza había dispuesto ahí, ante mí, casi me produjo vértigo.

Al fin había atisbado una diminuta fracción de la verdad, de cuya sorprendente simplicidad llegó a tener una leve noción en la azotea del seminario.

Poco tiempo después publica su primer trabajo destacado sobre una nueva mecánica cuántica, el cual no sólo explica la estructura atómica en forma libre de contradicciones internas, sino que además describe todos los experimentos conocidos con absoluta precisión. Sus ideas suscitan gran entusiasmo entre sus compañeros y profesores de Copenhague y Gotinga, quienes las hacen suyas e inmediatamente las llevan adelante. Sin embargo, en otros, como Albert Einstein, prevalece el escepticismo. Pues en su nueva física, Heisenberg ha abandonado la descripción plástica de los modelos tradicionales, optando por el lenguaje matemático abstracto y complejo. Con marcada mordacidad, Einstein le escribe a un colega: "Heisenberg ha prendido una gran bomba cuántica. Los de Gotinga le dan crédito –yo no".

Pero la crítica de su celebérrimo ideal tan sólo espolea aún más al joven genio; dos años después de su primer gran acierto, en mayo de 1927, Heisenberg prende su segunda

"bomba" cuántica, que lleva su nombre: se trata del "principio de indeterminación de Heisenberg". Su impacto en el mundo de la física se asemeja realmente a una bomba. Con él, Heisenberg consolida su teoría, pero a la vez pone de manifiesto los límites de las ciencias naturales. Destruye la imagen de observador independiente y potencialmente omnisapiente del investigador. En sus propias palabras:

> Cuando observamos los objetos de nuestro entorno cotidiano, el proceso físico que posibilita la observación juega un papel secundario. Pero cuando se trata de la observación de los elementos ínfimos de la materia, este proceso es siempre motivo de profundas alteraciones...

Es así que un físico, por ejemplo, puede determinar con mayor o menor precisión la órbita de un satélite; no así la de un electrón: si mide exactamente su ubicación, lo refrena y por ende la velocidad es ficticia. Si determina correctamente su velocidad, lo arroja fuera de su órbita, malogrando así la medición de su ubicación. Ya no se puede hablar de la órbita de un electrón en tal sentido.

> En consecuencia, la concepción de la realidad objetiva de las partículas elementales se volatizó extrañamente, pero no en la bruma de una nueva, confusa y aún incomprendida concepción de la esencia de la realidad, sino en la transparente nitidez de las matemáticas...

Y es una matemática que a pesar de su alto grado de abstracción hace de la mecánica cuántica la teoría más exitosa en el campo de la física. Difícil será encontrar un ámbito en el cual no haya sido aplicada en alguna forma y, como señaló autosuficientemente Heisenberg, no sería perfeccionada jamás por persona alguna.

Werner Heisenberg aún no cuenta con 26 años de edad y ya se ha inmortalizado en los anales de la física; en los próximos años será distinguido con numerosos galardones nacionales e internacionales, incluso con el Premio Nobel en 1933, en tanto que la mecánica cuántica irrumpirá en los centros de investigación del orbe. A Heisenberg le es ofrecida una cátedra en Leipzig, ciudad a la cual pronto acudirán estudiantes de todo el mundo, atraídos por la celebridad del "catedrático más joven de Alemania". Ahora es la vida interior del átomo el objeto de sus intrépidas ideas. En 1932, con tres trabajos sobre "la estructura del núcleo atómico", sienta los fundamentos de un nuevo campo de la investigación, la física nuclear teórica.

Pero mientras Heisenberg está enfrascado en la búsqueda de los principios de orden de la materia, no puede ya pasar por alto que los nuevos señores en la cúspide del Estado, con su demencia racista que no sabe de la dignidad de las personas y no hace alto ante la exterminación de pueblos enteros, se encuentran destruyendo sistemáticamente los principios de orden de la convivencia humana. Ha llegado la hora en que deberá adoptar una actitud inequívoca. En un primer momento intenta "invernar" con algunos colegas y discípulos afines, a la espera de mejores tiempos y para continuar la labor "para la cual parece que fui puesto en el mundo", como lo describe en una de sus numerosas cartas a su madre. Pero así de sencillo no es. Por su destacada posición es el blanco predilecto de detractores y de refractarios a su teoría. Su física teórica es objeto de invectivas y libelos infamatorios de los representantes de una física nazi, racista, comprometida con el compás ideológico, y que no vacila en repudiar la trascendental teoría de la relatividad de Einstein, calificándola de "fantasmagoría judía".

Finalmente, Heisenberg hace frente a la situación. Con tenacidad y en último término con éxito rehabilita su reputación y su modo de abordar la física. Pero, ¡a qué precio! Trabaja para el régimen, debido a que en el entretanto la investigación ha sido puesta al servicio de los fines bélicos. Heisenberg emprende un largo y peligroso acto de equilibrio entre la política y la física.

La fisión del uranio lograda por Otto Hahn en 1938 despeja las últimas dudas de la comunidad mundial de físicos nucleares respecto de la factibilidad de la bomba atómica y del reactor nuclear. Los expertos alemanes reconocen que con los reducidos medios de que en atención a las circunstancias disponen, una bomba alemana no sería realizable. En un convincente informe pericial, Heisenberg recomienda a las autoridades militares pertinentes la construcción de un reactor

nuclear, encomendándose a sí mismo como encargado científico del proyecto. De esta manera, espera que tanto la física como el físico logren sobrevivir lo más incólumemente posible los tiempos de guerra. Aún bajo el retumbar de los cañones aliados, con su equipo intenta poner en marcha la primera verdadera reacción en cadena –firme en su convicción de ser internacionalmente el primero en su campo. Cuando en agosto de 1945 las bombas atómicas norteamericanas reducen a escombros Hiroshima y Nagasaki, la flor y nata de la física atómica alemana se encuentra internada en Gran Bretaña, en Farm Hall. La primera reacción es de espanto, pero éste pronto da lugar al alivio de no haber tenido cartas en el asunto. Finalmente, empero, los invade una sensación de desencanto por haberse encontrado tan rezagados científicamente. "¡Hubiésemos podido construir la bomba, pero no quisimos!" Con esta afirmación inverificable intentan poner de manifiesto un sentido de responsabilidad y a la vez salvaguardar su reputación como investigadores líderes. Porque todos ellos, sin excepción, ansían retomar la investigación. Y sólo si su prestigio de expertos es incuestionable, pueden esperar que les sean concedidos los medios necesarios.

Como primera cosa, sin embargo, deben rehacer la diseminada y destrozada investigación atómica alemana. Luego de una ardua disputa, el otrora Canciller Federal Adenauer en 1955 incluso crea un ministerio para asuntos nucleares. Pero cuando la investigación libre se ve amenazada por la clasificación militar de cara al proyectado equipamiento nuclear del ejército, los científicos toman cartas en el asunto –entre ellos Heisenberg. Debido al manifiesto de los "Dieciocho de Gotinga", suscrito también por Heisenberg, el gobierno federal se ve obligado a prescindir de las armas nucleares.

Luego de años de trabajo para sentar nuevas bases científico-políticas, Heisenberg, con ya más de cincuenta años

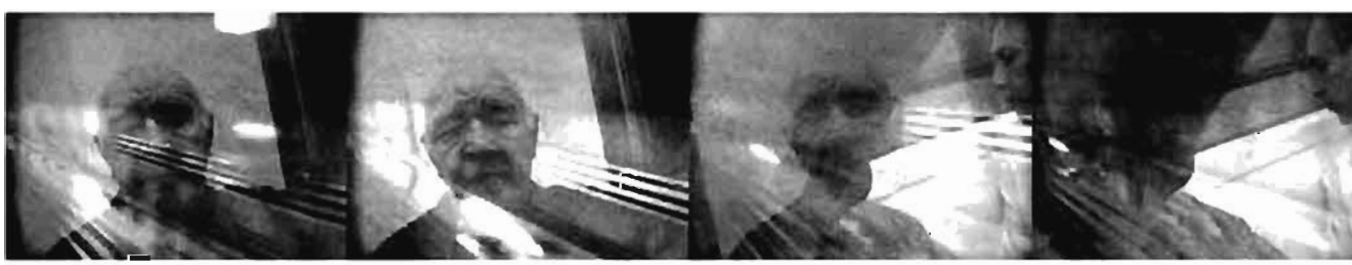
cumplidos, vuelve a disponer de tiempo para dedicarlo a la física nuclear. Con gigantescos aparatos de aceleración, los físicos en el entretanto han penetrado en dimensiones más minúsculas de la estructura de la materia y enfrentan, con bastante desconcierto, un barullo de partículas exóticas que aguardan a ser ordenadas.

Ahora es Heisenberg quien padece bajo el lastre de sus conocimientos. Mientras que "con su mecánica cuántica celebró en su tiempo una marcha triunfal", señaló ocasionalmente su alumno y amigo Carl Friedrich von Weizsäcker, "su lucha por la teoría de las partículas elementales se asemejó a una guerra de trincheras". En 1958, Heisenberg presentó el proyecto de una amplia teoría de la materia, cuyo punto de partida son las simetrías fundamentales de las leyes naturales. La prensa la exagera y exalta, hablando de la "teoría mundial", en tanto que la nueva generación de teóricos se limita a sonreír benévolamente.

Habiendo transcurrido más de veinte años desde su fallecimiento, no cabe duda alguna: la teoría de las partículas más pequeñas tiene que basarse en las simetrías. Y aún más, éste es también el origen del universo.

Al comienzo estaba la simetría –la forma geométrica de Platón.

***Wolfgang Burgmer es físico, escribe para la radio y revistas alemanas. Texto tomado de la revista* Humboldt *119, 1996. Traducción de Mónica Perne.***



# El enigma de Fermat

John
**Lynch**

Por fin nos encontramos en una habitación que, aunque no estaba abarrotada, era lo bastante amplia para contener todo el Departamento de Matemáticas de Princeton con ocasión de las grandes celebraciones. Aquella tarde en particular no había demasiada gente allí, pero sí la suficiente como para que dudara de quién era Andrew Wiles. Tras unos instantes, observé a un hombre de aspecto tímido que escuchaba las conversaciones a su alrededor bebiendo té mientras asistía a la reunión ritual de cerebros que los matemáticos de todo el mundo efectúan cada tarde alrededor de las cuatro. Él, simplemente , supuso quién era yo.

Fue el final de una semana extraordinaria. Me había reunido con algunos de los mejores matemáticos del momento y había empezado a obtener una visión de su mundo desde dentro. Aquél fue nuestro primer encuentro a pesar de todos mis intentos anteriores de concertar una cita con Andrew Wiles para hablar con él y convencerlo de que tomara parte en un documental sobre sus logros para la serie *Horizon* de la BBC. Aquél era el hombre que recientemente había anunciado haber hallado el Santo Grial de las matemáticas, el hombre que aseguraba haber demostrado el último teorema de Fermat. Mientras hablábamos, Wiles tenía un aire distraído y retraído, y, aunque era educado y amistoso, era evidente que me quería lo más lejos posible

© **Isaías Ortega**, *Heterogramas* del video *Viernes* del ciclo *Subterráneo*, 1999

de él. Explicó con sencillez que no le sería posible concentrarse en nada excepto en su trabajo, que estaba en una etapa crítica, pero que tal vez en el futuro, cuando la presión actual hubiera desaparecido, estaría encantado de tomar parte en el programa. Sabía, y él sabía que yo lo sabía, que se estaba enfrentando al derrumbamiento de la ambición de su vida, y que el Santo Grial se había revelado ahora nada más que como una copa bastante bonita y vallosa, pero corriente. Había encontrado un punto débil en su anunciada demostración.

La historia del último teorema de Fermat es única. En la época en que hablé por primera vez con Andrew Wiles había llegado a la conclusión de que se trataba de una de las grandes historias en la esfera del esfuerzo científico y académico. Vi los titulares en el verano de 1993, cuando la demostración había puesto las matemáticas en las primeras planas de los diarios de ámbito nacional de todo el mundo. En aquel momento sólo tenía un vago recuerdo de lo que era el último teorema, pero vi que aquello era algo muy especial y que tenía un cierto aroma a documental para *Horizon*. Pasé las siguientes semanas hablando con varios matemáticos: los que estaban profundamente implicados en la historia, o estaban muy próximos a Andrew, y los que simplemente sentían la emoción de ser testigos de un gran evento en su campo. Todos compartieron generosamente conmigo sus conocimientos sobre historia de las matemáticas y me comunicaron con paciencia lo poco que pude comprender de los conceptos involucrados. Pronto tuve la certeza de que sólo una media docena de personas en todo el mundo estaban en condiciones de comprender realmente todo el material sobre el tema. Durante un tiempo me pregunté si estaría loco al intentar grabar el documental. Pero de aquellos matemáticos aprendí acerca de la rica historia y sobre el aún más profundo significado de Fermat para las matemáticas y los que las practican, y aquí, me di cuenta, era donde realmente estaba la historia.

Conocí los orígenes del problema en la antigua Grecia y supe que el último teorema de Fermat era el pico más alto del

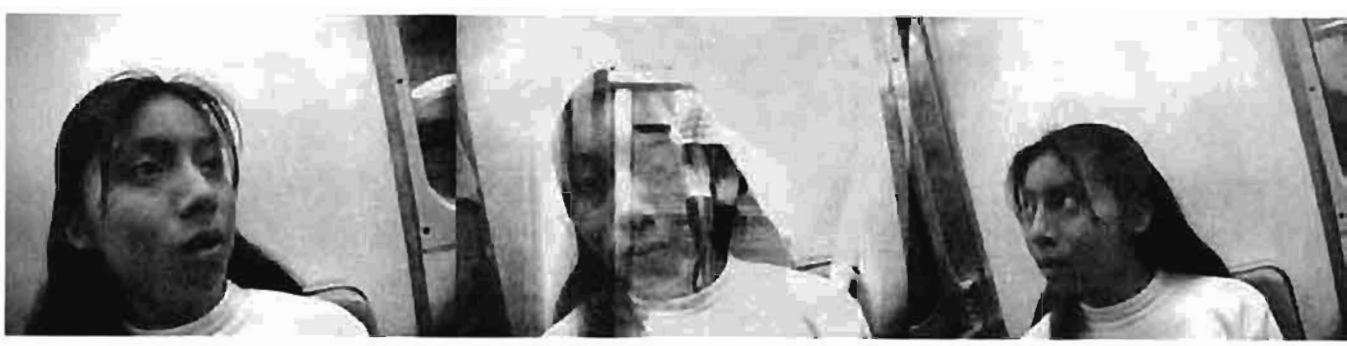
## EL ÚLTIMO TEOREMA DE

Pierre de Fermat nació el 17 de agosto de 1601 y murió el 12 de enero de 1665. Es, quizá, el más famoso teórico de los números que haya existido jamás. Es por ello sorprendente el hecho de que Fermat era abogado y que las matemáticas eran para él sólo una afición. Sorprende más aún el que únicamente haya publicado un artículo matemático en toda su vida y que lo hiciera de manera anónima, como un apéndice para el libro de un colega.

Dado que Fermat se rehusó a publicar su obra, fue su hijo Samuel quien se dio a la tarea de recopilar sus trabajos matemáticos, sus cartas, sus comentarios escritos en libros, etcétera, con la idea de publicar las ideas matemáticas de su padre. Fue así como se dio a conocer el famoso "último teorema", el cual fue hallado por Samuel en una nota marginal escrita en la *Aritmética* de Diofanto. El teorema establece que:

Himalaya de la teoría de números. Me introdujeron en la belleza estética de las matemáticas y empecé a apreciar qué significa describir las matemáticas como el lenguaje de la naturaleza. A través de los coetáneos de Wiles capté la naturaleza hercúlea de su trabajo al reunir las técnicas más recientes para usarlas en su demostración. Sus amigos en Princeton me hablaron del intrincado progreso que obtuvo durante años de estudio en solitario. Me construí una imagen extraordinaria sobre Andrew Wiles y el enigma que dominaba su vida, pero parecía destinado a no encontrarme jamás con él en persona.

Aunque las matemáticas relacionadas con la demostración de Wiles se cuentan entre las más difíciles del mundo, descubrí que la belleza del último teorema de Fermat radica en el hecho de que el problema en sí es tremendamente fácil de entender. Constituye un enigma que se puede enunciar en términos comprensibles para cualquier escolar. Pierre de Fermat fue un hombre de la tradición renacentista que estuvo en el centro del redescubrimiento de la antigua sabiduría griega. Pero él enunció una pregunta en la que los griegos no habían pensado, y al



© **Isaías Ortega**, videogramas del video Jueves del ca *Subterráneo*, 1998.

**FERMAT**

$$x^n + y^n = z^n$$

no tiene soluciones enteras diferentes de cero para x, y, z, cuando $n > 2$.

Fermat escribió: "He descubierto una prueba verdaderamente notable para la cual este margen resulta demasiado pequeño".

La nota fue escrita alrededor de 1630, cuando estudiaba la *Aritmética* de Diofanto. Aunque existen evidencias de que Fermat supo al menos cómo demostrar los casos especiales de $n = 3$ y $n = 4$, el matemático jamás volvió a hacer mención del teorema general. ***JESR***

hacerlo creó el que llegaría a ser el problema más difícil de resolver. De forma tentadora, dejó una nota para la posteridad en la que sugería que poseía una respuesta, pero no cuál era. Éste fue el inicio de una caza que duró tres siglos.

Este periodo de tiempo refuerza la importancia del enigma. Es difícil concebir algún problema, en cualquier disciplina científica, tan simple y claramente planteado que pueda haber resistido durante tanto tiempo el examen de los progresos del conocimiento. Consideremos los avances en física, química, biología, medicina e ingeniería desde el siglo XVII. En medicina se ha progresado desde los "humores" hasta la ingeniería genética, se han identificado las partículas atómicas fundamentales y hemos llevado hombres a la Luna; pero, en teoría de números, el último teorema de Fermat permanecía inexpugnable.

Durante un tiempo en mi investigación busqué las razones por las que el último teorema de Fermat pudiera interesar a cualquiera que no fuera un matemático, y por qué sería importante hacer un programa acerca de él. Las matemáticas tienen un montón de aplicaciones prácticas, pero en el caso de la teoría de números los usos más estimulantes que se me ofrecieron fueron en criptografía, en el diseño de pantallas acústicas y en la comunicación con sondas espaciales lejanas. Ninguno de ellos parecía apropiado para atraer a la audiencia. Mucho más atractivos eran los mismos matemáticos y la pasión que expresaban cuando hablaban de Fermat.

Las matemáticas son una de las formas más puras de pensamiento y, para los profanos, los matemáticos casi parecen seres de otro mundo. Lo que me impactó en todas las conversaciones con ellos fue la extraordinaria precisión de su discurso. Una pregunta rara vez se respondía de inmediato; a menudo debía esperar mientras la estructura precisa de la respuesta se resolvía en su mente, pero al fin emergía un argumento tan articulado y cuidadoso como yo pudiera haber deseado. Cuando conversé sobre esto con Peter Sarnak, un amigo de Andrew, me explicó que los matemáticos simplemente odian hacer afirmaciones falsas. Por supuesto, usan la intuición y la inspiración, pero las afirmaciones formales deben ser absolutas. La demostración se encuentra en el corazón de las matemáticas, y es lo que las diferencia del resto de las ciencias. Otras ciencias tienen hipótesis que se comprueban por medio de la evidencia experimental hasta que fallan y son sustituidas por nuevas hipótesis. En matemáticas, el objetivo es la demostración absoluta, y cuando algo se demuestra es para siempre, sin posibilidad de cambio. En el último teorema, los matemáticos tenían su mayor reto, y la persona que encontrara la respuesta recibiría la adulación de todos los integrantes de la disciplina.

Se ofrecieron premios y florecieron rivalidades. El último teorema posee una rica historia que llega a la muerte y al engaño, e incluso ha estimulado el desarrollo de las matemáticas. Como ha dicho Barry Mazur, matemático de Harvard, Fermat añadió un cierto *animus* a aquellas áreas de las matemáticas asociadas con los primeros intentos de demostración.

Irónicamente, resultó que justo una de tales áreas de las matemáticas fue decisiva en la demostración final de Wiles.

Mientras obtenía gradualmente una comprensión de este campo poco familiar para mí, empecé a apreciar la importancia capital del último teorema de Fermat para las matemáticas, e incluso su paralelismo con la historia de las matemáticas mismas. Fermat fue el padre de la moderna teoría de números, y desde aquel tiempo las matemáticas han evolucionado, progresado, y se han ramificado en varios campos arcanos, en los que nuevas técnicas han engendrado nuevas áreas de las matemáticas y se han transformado en fines en sí mismas. Con el paso de los siglos, el último teorema pareció cada vez menos relevante para el desarrollo de las investigaciones de vanguardia en matemáticas y se fue transformando en una curiosidad. Pero ahora queda claro que su importancia capital para las matemáticas nunca disminuyó.

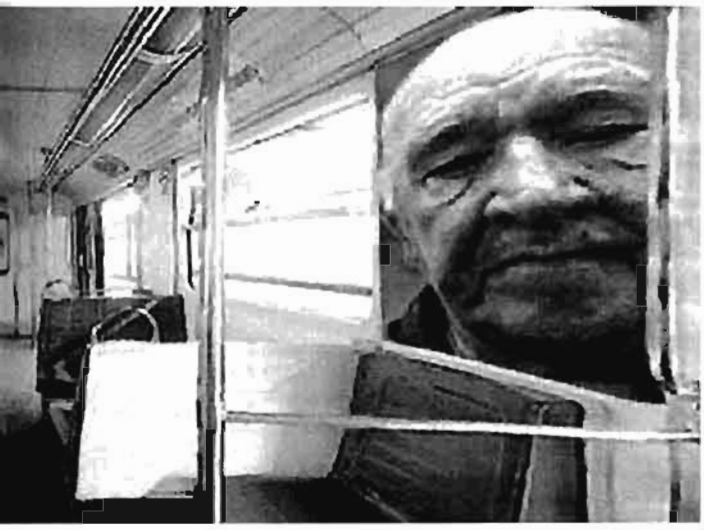
Los problemas sobre números, como el que planteó Fermat, son como rompecabezas para colegiales, y a los matemáticos les encanta resolver rompecabezas. Para Andrew Wiles existía uno muy especial, y nada menos que la ambición de su vida. Treinta años antes, cuando era niño, el último teorema de Fermat lo inspiró al tropezar con él en un libro de la biblioteca pública. El sueño de su niñez y de su madurez fue resolver el problema, y cuando reveló por primera vez su demostración en aquel verano de 1993, aquello representaba el final de siete años de duro trabajo dedicado al problema, con un grado de concentración y determinación difícil de imaginar. Varias de las técnicas que usó aún no habían sido creadas cuando empezó su labor. Agrupó el trabajo de muchos y buenos matemáticos, uniendo ideas y creando conceptos que otros habían temido desarrollar. En cierto sentido, como dijo Barry Mazur, todo el mundo había estado trabajando en Fermat, pero de forma separada y sin tenerlo como objetivo, porque la demostración necesitó de todo el poder de las matemáticas modernas para llegar a la solución. Lo que hizo Andrew fue reunir, una vez más, áreas de las matemáticas que se habían creído muy lejanas entre sí. En consecuencia, su trabajo pareció justificar toda la diversificación que las matemáticas habían sufrido desde que se formuló el problema.

En el desarrollo de su prueba de Fermat, Andrew demostró una idea conocida como la conjetura de Taniyama-Shimura, que creó un nuevo puente entre mundos matemáticos completamente distintos. Para muchos, el objetivo supremo es el de unas matemáticas unificadas, y esto fue un destello de un

mundo así. Por tanto, al demostrar Fermat, Andrew Wiles había cimentado algunas de las partes más importantes de la teoría de números del periodo de posguerra y asegurado la base de una pirámide de conjeturas que se basaban en ella. Ya no era tan sólo el haber resuelto el enigma matemático más duradero, sino haber hecho avanzar las fronteras de la matemática misma. Fue como si el simple problema de Fermat, nacido cuando las matemáticas estaban en su infancia, hubiera estado esperando este momento.

La historia de Fermat había acabado de la forma más espectacular. Para Andrew Wiles significó el fin de un aislamiento profesional casi ajeno a las matemáticas, que es una actividad de colaboración. La hora del té es un ritual de la tarde en los departamentos de matemáticas de todo el mundo; constituye el momento en que las ideas se ponen en común, y la norma es que se compartan antes de su obligada publicación. Ken Ribet, un matemático que ha sido decisivo en la demostración, me sugirió, bromeando sólo a medias, que es la inseguridad de los matemáticos la que hace imprescindible el apoyo entre colegas. Andrew Wiles había renunciado a todo esto y guardó su trabajo para sí mismo, salvo en las últimas etapas. Esto es otra muestra de la importancia de Fermat. Wiles tenía una verdadera pasión por ser el primero en resolver el problema, una pasión suficientemente fuerte como para dedicarle siete años de su vida y mantener su objetivo en secreto. Sabía que, por irrelevante que pareciera el problema, la competencia por Fermat nunca había disminuido y no podía arriesgarse a revelar lo que estaba haciendo.

Tras semanas de investigación sobre el tema, llegué a Princeton. Para los matemáticos, el grado de emoción fue intenso. Había encontrado una historia de rivalidad, éxito,



aislamiento, genio, triunfo, celos, intensa presión, derrota e incluso tragedia. En el corazón de la crucial conjetura de Taniyama-Shimura estaba la trágica vida de Yutaka Taniyama en el Japón de posguerra, cuya historia tuve la suerte de oír en palabras de su amigo Goro Shimura. De Shimura también aprendí la noción de "bondad" en matemáticas, donde las cosas se "sienten" correctas simplemente porque son buenas. De algún modo, el sentido de bondad llenó la atmósfera de las matemáticas aquel verano. Todos estábamos disfrutando de aquel momento glorioso.

Con todo esto en marcha no es de extrañar el peso de la responsabilidad que sentía Andrew mientras el error había ido apareciendo durante el otoño de 1993. Con los ojos de todo el mundo puestos en él, y con sus colegas pidiendo que hiciera pública la demostración, de alguna forma, y sólo él sabrá cómo no se vino abajo. Pasó de hacer matemáticas en privado, y a su propio ritmo, a trabajar repentinamente en público. Andrew es un hombre profundamente reservado que luchó mucho para proteger a su familia de la tormenta que se desencadenaba a su alrededor. Durante la semana que estuve en Princeton lo llamé, le dejé notas en su despacho, en el rellano de su piso y a sus amigos; incluso le regalé té inglés. Pero él resistió a mis proposiciones hasta aquel afortunado encuentro el mismo día de mi partida. Siguió una conversación tranquila e intensa que tan sólo duró quince minutos.

Cuando nos separamos aquella tarde habíamos llegado a un acuerdo. Si él era capaz de recomponer la demostración, entonces vendría a discutir sobre el documental; yo estaba preparado para esperar. Pero mientras volaba de regreso aquella noche sentía que mi programa de televisión estaba muerto. Nadie había sido capaz de solucionar el problema en las diversas demostraciones de Fermat a lo largo de tres siglos. La historia está plagada de falsos anuncios de demostración y, por mucho que deseara que él fuera una excepción, era difícil imaginar a Andrew como algo más que otra lápida en el cementerio matemático.

Un año después recibí una llamada. Tras una extraordinaria pirueta matemática, con un destello de verdadera intuición e inspiración, Andrew había conseguido llevar Fermat a buen término. Un año después encontramos el tiempo necesario para dedicarlo a la filmación. Para entonces yo había invitado a unirse a mí en la producción del reportaje a Simon Singh, y juntos pasamos algún tiempo con Andrew, conociendo por él mismo la historia completa de siete años de estudio en solitario y del infernal año que siguió. Mientras rodábamos, Andrew nos habló, como no lo había hecho con nadie, de sus sentimientos más profundos acerca de lo que había realizado; cómo durante treinta años se había obsesionado con un sueño de la infancia; cómo buena parte de las matemáticas que había estudiado durante tanto tiempo había sido en realidad, sin que él mismo lo supiera, un acopio de instrumentos para el reto de Fermat que había dominado su carrera; cómo nada volvería a ser lo mismo; de su sentimiento de pérdida por el problema que ya no volvería a ser su constante compañía, y de la sensación de alivio ante la libertad que experimentaba ahora. Aunque se trata de una materia tan difícil de comprender como pueda imaginarse para una audiencia profana, la intensidad emocional de nuestras charlas fue la mayor que haya vivido nunca a lo largo de mi carrera como productor de documentales científicos. Para Andrew aquél era el fin de un capítulo en su vida. Para mí fue un privilegio presenciar de cerca este final.

El documental fue emitido por la cadena BBC con el título *Horizon: El último teorema de Fermat*. Simon Singh ha ampliado aquellas revelaciones y aquellas conversaciones privadas, junto con la gran riqueza de la historia de Fermat y la de las matemáticas que siempre han rodeado dicho problema, en este libro que es una relación completa y esclarecedora de una de las más grandes historias en los anales del pensamiento humano.

***John Lynch, es editor de la serie Horizon para la cadena BBC. Este texto es el prólogo del libro de Simon Singh,* El enigma de Fermat, *traducción de David Galadí, Planeta, 1998.***

# Oscar Guzmán

© **Oscar Guzmán**. *Personaje no identificado en el Jardín Botánico de Gálvez*, de la serie Ciudad Gálvez. 1995-2000.

Oscar Guzmán Ayala nació en la Ciudad de México en 1951. Radica en la ciudad de Toronto y en la ciudad de Mérida. Estudió medicina y biología en la UNAM, Ciudad de México y fotografía en el Ontario College of Art, Toronto (posteriormente fundó el laboratorio de manipulación de imágenes en esta institución). Estudió psicología experimental en York University, Toronto. Ha sido diseñador en el Centro de Ciencias de Ontario, y ha trabajado como investigador en el área de Percepción Visual (York University). Ha patentado dos instrumentos ópticos para evaluar la agudeza visual. Desde 1981 es director de Imtek Imagineering Inc., compañía que produce imágenes digitales que son distribuidas internacionalmente a través de Masterfile. Ha participado en exposiciones colectivas e individuales en México y Canadá. Actualmente está interesado en la relación entre lo real y lo virtual, así como en proyectos de multimedia. Ha trabajado en el proyecto de Ciudad Gálvez desde 1995. (E-mail: oscar-guzman@home.com)

© **Oscar Guzmán**, *Explanada utilizada para celebrar las festividades populares conocidas como Rutelinas de Otoño*, de la serie **Ciudad Gálvez**, 1995-2000.

Las imágenes de Ciudad Gálvez documentan una urbe que no tiene contraparte en esta realidad. Gálvez es una ciudad imaginaria. Sin embargo, las imágenes que documentan esta ciudad utilizan el lenguaje fotográfico. Puesto que Gálvez es virtual, las imágenes fotográficas nos refieren al mundo imaginario.

La posibilidad de utilizar el lenguaje fotográfico para representar espacios imaginarios es posible gracias a la tecnología digital. Los programas que han sido utilizados para la realización del documento de Gálvez incluyen Lightscape, Studio Max y Power Animator (Alias) y las computadoras empleadas incluyen Silicon Graphics, Pentium y Macintosh. Los programas mencionados son capaces de generar imágenes fotorrealistas porque han surgido como herramientas capaces de modelar la realidad física. Modelar ciertos aspectos de la realidad (por ejemplo la simulación del comportamiento de la luz) requiere cálculos complejos que, afortunadamente, los procesadores de las computadoras mencionadas pueden ejecutar en un tiempo razonable.

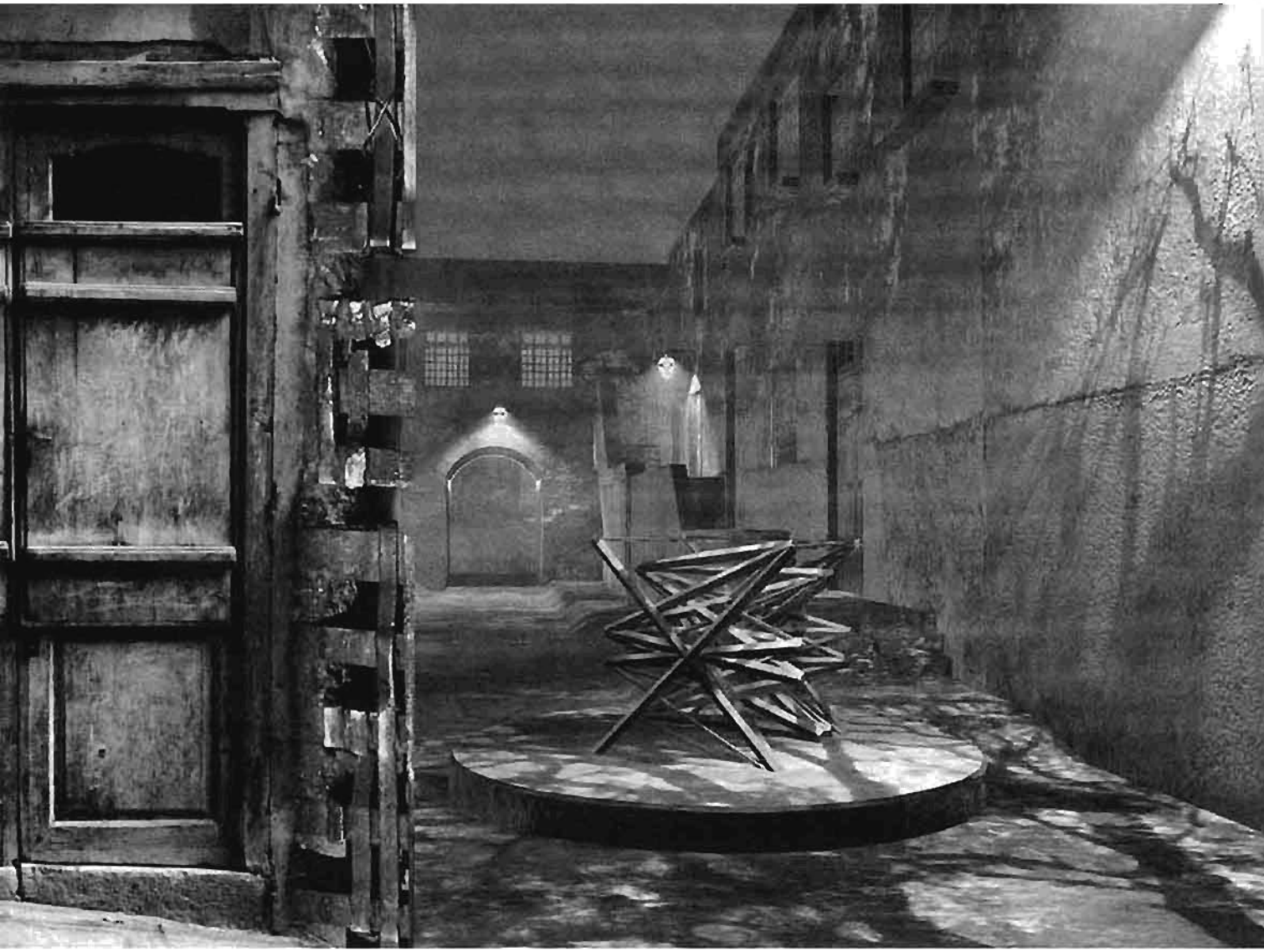
La posibilidad de documentar la realidad subjetiva, utilizando el lenguaje fotográfico, nos invita a reflexionar acerca de lo que es el "documento".

En general, un "documento" se acepta sin crítica pues tiene la connotación de ser objetivo, sin embargo, un análisis más cuidadoso revela que el documento (fotográfico, histórico o científico) contiene un marcado elemento subjetivo de quien lo genera. En el caso del documento de Gálvez, los papeles han sido invertidos El documento nos refiere a un mundo imaginario, pero el lenguaje fotográfico le proporciona cierto grado de realidad.

Ciudad Gálvez es una invitación a explorar la relación entre lo real y lo imaginario; curiosamente, a medida que el documento de Gálvez aumenta, la línea que divide lo real de lo imaginario se hace más imaginaria que real.

El proyecto de Ciudad Gálvez se inició en 1995 y continúa evolucionando hasta la fecha.

© **Oscar Guzmán**, *Trabajadores durante la fundición del bronce utilizado para las Cúpulas Flotantes*, de la serie **Ciudad Gálvez**, 1995-2000.



© **Oscar Guzmán**, *El legendario Callejón del 7 (Barrio de la Encina)* de la serie **Ciudad Gálvez**, 1995-2000.

# Si 'P o no P', entonces Dios existe

## Alrededor del *Argumentum Ornitologicum* de Jorge Luis Borges

*Gewöhnlich glaubt der Mensch, wenn er nur Worte hört. Es müsse sich dabei doch auch was denken lassen.*
J.W. GOETHE

Daniel **Vera**

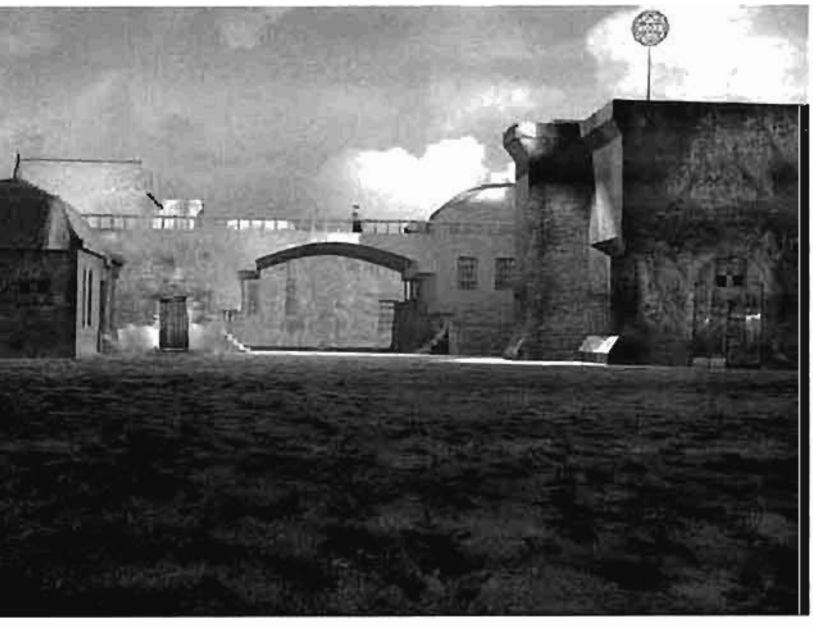
### SUSPENSIÓN DE LA CREDULIDAD

Borges, o alguno de sus precursores, ha señalado esa felicidad, característica del lector de ficciones, que consiste en la suspensión voluntaria y momentánea de la incredulidad; no alcanzar ese placer es signo de una deficiente educación estética, pero también lo es la extensión, deseada o no, de esa credulidad hacia otras voces y otros ámbitos. *El Quijote* y *Madame Bovary* se han escrito acaso y entre otras cosas, para que aprendamos a gozar de las ficciones sin abandonar por ello ninguna incredulidad que las exceda; aplicar un procedimiento semejante a la metafísica, definida por él como una rama de la literatura fantástica, no deja de ser, para mí, el mayor y mejor rasgo de la obra de Borges, haya sido éste un propósito deliberado de su empresa o una consecuencia inesperada de la misma. Por lo tanto, no quisiera que se busque en estos comentarios acerca de una breve pieza suya la intención de destruir los goces desprevenidos de la lectura; por el contrario, entiendo que se trata de una continuación de esos goces por otro medio, a saber: la suspensión de la credulidad propia del pragmatismo, que permite disfrutar una creciente gama de discursos sin comprometerse ontológica, ideológica ni comunicativamente con lo que esos discursos refieren o relatan. Esta "primacía de la práctica" admite la cooperación de procedimientos constructivos y deconstructivos, y privilegia el diálogo como estilo de relación entre personas, teorías y culturas. El diálogo necesita tanto de las razones alternativas como de las propias razones; me gusta decir que el diálogo comienza donde termina la comunicación, si es que hay algo que puede llamarse así; cuando unos y otros –es sólo una suposición– dicen lo mismo de lo mismo, ninguno dice propiamente nada, o mejor: habla uno solo, aunque sean varios los

que mueven los labios, y éste sería el caso de la comunicación, merced a un patrón común donde encajan o deben encajar perfectamente los símbolos de los presuntos participantes. Si esto se diera, convendría llamarlo monólogo; pero se lo llama diálogo, no sólo porque el uso de las palabras tiene siempre algo de arbitrario, sino también porque se ajusta a las prácticas habituales, con independencia de las pretensiones de hegemonía teórica y de las pretensiones teóricas de hegemonía: después de Freud –o después de Oscar Wilde o después de Robert L. Stevenson– el solipsismo es tan insostenible, o tan fantástico, como el realismo; no hay lenguajes monológicos, aunque algunos sistemas de signos aspiren a serlo.

### RESPUESTA A LA PREGUNTA: ¿QUÉ SIGNIFICA SER MATERIALISTA?

No hace mucho, en un reportaje, Juan José Saer se confesaba "materialista y ateo"; la conjunción de estos predicados no es, por cierto, original, se trata de un resabido lugar común, pero me llamó la atención que un escritor la utilizara para calificar sus creencias. Antes de eso, la expresión "materialista y ateo" era para mí un artefacto redundante, un monstruo para sobresaltar ancianas, en suma, un pleonasmo polémico, destinado más bien a descalificar que a calificar. Ironías aparte, la unión explícita de ambos adjetivos implica que no es insólito aplicarlos separadamente, para decir, por ejemplo, de algo o de alguien que es materialista pero no ateo, o a la inversa, que es ateo sin ser materialista. Nada sorprendente, cuando se asignan propiedades divinas a la materia o propiedades materiales a la divinidad, y la materia se ha divinizado tantas veces como se ha



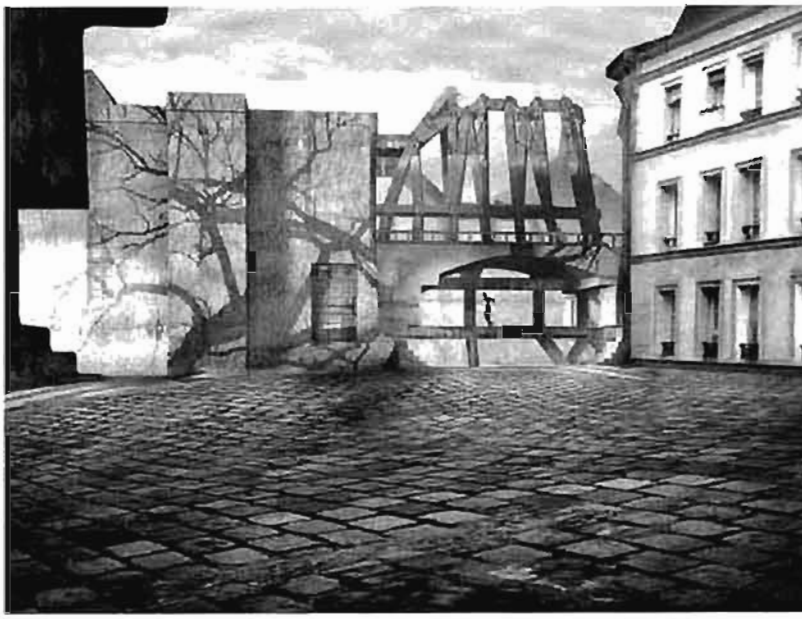
© **Oscar Guzmán**, *Vista general de las escuelas de Astronomía, Minería y Música*, de la serie Ciudad Gálvez, 1995-2000

materializado la divinidad. Sin embargo, me parece que todavía vale la pena decir algo en favor de una sinonimia entre "materialismo" y "ateísmo" en la discusión pública y esto tiene que ver con la implicación material y con el principio del tercero excluido; en un "materialismo lógico" digno de ese nombre: a) de una creencia contradictoria se siguen cualesquiera otras creencias, arbitrarias en forma y contenido, aunque puedan establecerse vínculos estadísticos con algunos contenidos y acaso con algunas formas de la creencia inicial o de creencias afines, y b) una creencia verdadera es derivable de cualesquiera otras creencias, esto es, a partir de que alguien crea P, y P sea verdadera, no se le puede adjudicar la creencia consistente Q, distinta de P, tal que la verdad de Q sea premisa necesaria de la verdad de P (en rigor, sólo pueden atribuirse al creyente, hasta cierto punto, las consecuencias de P). Estos requisitos, cuyos ancestros lógicos han sido muy discutidos, están destinados a impedir la "trascendentalización" de la lógica, puesto que una lógica trascendental es incompatible con el materialismo, pero no se bastan para cumplir su cometido, y en la práctica pueden ser arrasados por el uso irrestricto o simplemente descuidado del principio de tercero excluido: la creencia de que los enunciados de creencia están definidos respecto a la verdad, aunque se carezca de medios para probarlos en un diálogo finito, entraña la creencia en un Dios, el cual sabría para cada disyunción de la forma 'P v -P' (pe o no pe) cuál miembro de la misma es verdadero y cuál falso. Las paradojas de esta suposición han sido tratadas en primer término, hablo de la fama y no de la historia, por el Kant de las *Antinomias de la razón pura* y de *La disciplina de la razón pura respecto a sus demostraciones*, y luego por los lógicos constructivistas; de éstos, sólo convocaré aquí a Paul Lorenzen y su *Pensamiento metódico* y a Andrés Raggio, quien pronunció, en 1968, su conferencia *Alcance y límites de la mecanización en lógica*. Pero el *Argumentum ornitologicum* de Jorge Luis Borges es el ejemplo más hermoso que conozco y en él se muestra, con singular lucidez y prescindiendo de todo tecnicismo, lo que quiero decir:

Cierro los ojos y veo una bandada de pájaros. La visión dura un segundo o acaso menos; no sé cuántos pájaros vi. ¿Era definido o indefinido su número? El problema involucra el de la existencia de Dios. Si Dios existe, el número es definido, porque Dios sabe cuántos pájaros vi. Si Dios no existe, el número es indefinido, porque nadie pudo llevar la cuenta. En tal caso, vi menos de diez pájaros (digamos) y más de uno, pero no vi nueve, ocho, siete, seis, cinco, cuatro, tres, o dos pájaros. Vi un número entre diez y uno, que no es nueve, ocho, siete, seis, cinco, etcétera. Ese número entero es inconcebible, *ergo*, Dios existe. (*Obras Completas*, II, 165)

### LOS SUEÑOS NO SE PUEDEN CONTAR

"Cierro los ojos y veo una bandada de pájaros... No sé cuántos pájaros vi", esta cláusula, por sí sola, es una obra maestra de la indeterminación y la ironía: "Cierro los ojos y veo", dice Borges, el ciego. Es una cláusula protocolar, que no se puede contrastar intersubjetivamente; cada uno y sólo cada uno es capaz de saber lo que ve con los ojos cerrados, por lo tanto no puede ser aprobado ni reprobado en un diálogo respecto a esa visión: lo que se afirma reposa en la autoridad de quien lo profiere, en su autor y en la suspensión literaria de la incredulidad del lector. Además, el objeto de aquella supuesta visión –¿habría que decir "alucinación"?– es indeterminado: "No sé cuántos pájaros vi". Se podría contestar aquí, de manera ruda y llana, con mala educación estética: "Mire, Borges, si usted no sabe cuántos pájaros vio, sólo Dios lo sabe", y al conceder de tal modo la conclusión, se obviaría el *argumentum* y quedaría a salvo, sin esfuerzo ulterior, nuestra incredulidad pragmática. Me permito, sin embargo, ser bien educado y continuar: "¿Era definido o indefinido su número?". ¿'P v -P'?, con lo que se supone la validez lógica de la forma 'P v -P' y se considera que un extremo de la disyunción es verdadero y el otro



© **Oscar Guzmán**. *Barrio del Palomar, al fondo, el armazón de hierro (en construcción). Estas estructuras de hierro fueron levantadas en diferentes áreas de la ciudad para soportar las famosas Cúpulas Flotantes de Gálvez*. Ciudad Gálvez, 1995-2000.

falso, no ya en relación con el autor ni con el lector (éste sabe que para aquél el número es indeterminado, esto es, indefinido), porque entonces la pregunta sería superflua, sino en absoluto. Así las cosas, "el problema involucra el de la existencia de Dios", quien sería el garante único de la verdad o falsedad de cada uno de esos enunciados. Son conocidos los inconvenientes que acarrea para la proliferación de las ciencias y de las artes, y para la vida y libertad de artistas y científicos, el poner a Dios o alguna de sus máscaras: la Verdad, la Política Correcta, etcétera, como garantía de la verdad de un enunciado o de una teoría, de la belleza de una obra o de la calidad de una conducta; en todo caso, como queda claro en la exposición de la polémica entre Leibniz y Clarke y puede ser visto en un libro de Gottfried Martin, la fundamentación teológica de la verdad dice más sobre las convicciones de los creyentes que sobre la naturaleza de Dios, y a la física en general le ha resultado más productiva su inserción en la mecánica que su dependencia de la teología. Esto permite mostrar que mi análisis no está dirigido contra los que creen en Dios, pues de acuerdo con b), la creencia en Dios puede ser verdadera independientemente del valor de verdad que se asigne a 'P v -P', sino contra aquellos que niegan la existencia de Dios y sin embargo afirman 'P v -P', y menos directa, pero no menos insidiosamente, contra aquellos "trascendentalistas" que derivan la verdad del antecedente a partir de la verdad del consecuente, postulando vínculos lógicos que exceden la implicación material. Esta presentación gira así en torno a cierto "ateísmo metodológico" o "espistemológico"

y apela tanto a la credulidad literaria como a la incredulidad pragmática. Los sueños no se pueden contar entre los medios de prueba, pero sí el diálogo con el soñador.

### FINAL DE PARTIDA

La razón de Lorenzen para rechazar la forma 'P v -P' como ley lógica es que para defenderla con éxito en un diálogo se precisa saber de antemano cuál de los miembros es verdadero, ya que hay casos donde suponer la falsedad de uno y a partir de ello derivar la verdad del otro conduce a una aporía: alternativamente pueden probarse 'P' y '-P'; un ejemplo clásico de esta paradoja lo ofrecen las antinomias kantianas. Las dificultades para la aplicación de esta "ley" en operaciones matemáticas que envuelven la infinitud es un lugar común de las matemáticas constructivistas, y de acuerdo con la exposición de Raggio, ofrece un obstáculo insalvable para la mecanización del cálculo lógico de predicados cuando no se dispone de un procedimiento efectivo, un algoritmo, para la prueba de un enunciado: una máquina de Turing no detendría nunca su marcha. Un ejemplo sencillo permite notar la divergencia entre la aritmética teórica donde 'P' es '(10:3).3 = 10' y la aritmética mecánica de una minicalculadora digital donde '$P_1$' es '(10:3).3 = 9.9999999'; allá, un resultado correcto pero imposible de obtener mecánicamente, y aquí un resultado obtenido por medios mecánicos, pero "incorrecto". Este resultado "falso" pero operativo, requiere suspender en la práctica el principio de tercero excluido mediante un dispositivo *ad hoc*, dependiente del número de dígitos que admite la pantalla de la máquina y que detiene su funcionamiento cuando ese número se completa. En cuanto a la minicalculadora, 'P' es indeterminado respecto a la prueba, y con ello respecto a la verdad; una indeterminación relativa, que nos parecería absoluta si dispusiéramos solamente del lenguaje de los números decimales; pero '$P_1$', a pesar de haber sido obtenido, es indeterminado, ya que su "construcción", como aquella de Kafka, es incompleta: máquinas con un número mayor o menor de dígitos en su pantalla mostrarían resultados divergentes, que sería caótico considerar en sí mismos verdaderos o falsos, en tanto que una máquina ideal, con una pantalla infinita a su disposición, no terminaría nunca de imprimir nueves. El interruptor sacrifica la verdad a la operatividad, es una regla práctica, como lo es en ajedrez declarar tablas una posición de jaque perpetuo.

### LOS TÉRMINOS DE LA INDETERMINACIÓN

Sábato, alguna vez, acusó a Borges de confundir infinito con indefinido; en este caso, parece mejor decir que para exponer las consecuencias

indeseables del tercero excluido, a saber, el compromiso ontológico con entidades inescrutables, primero, y el compromiso teológico con un Dios Omnisciente, luego, le bastaba con una cláusula protocolar y una cantidad indeterminada, no muy grande: mayor que uno y menor que diez. Para el Borges del *Argumentum*:

'$V_1$ v $V_2$ v $V_3$ v $V_4$ v $V_5$ v $V_6$ v $V_7$ v $V_8$ v $V_9$' es verdadera, donde '$V_2$' es 'vi dos pájaros', '$V_3$' es 'vi tres pájaros', etcétera, pero no sabe cuál de los miembros '$V_N$', uno y sólo uno, hace verdadera la fórmula completa. En ese universo del discurso la disyunción de cada miembro con todos los demás tiene la forma 'P v -P' que, debido a la ignorancia apuntada, no puede ser defendida con éxito en un diálogo; esto deja perplejo a Borges (o Borges simula esa perplejidad, que algunos llaman metafísica), porque pone en suspenso la verdad de '$V_1$ v $V_2$ v ... v $V_9$', a la que no está dispuesto a renunciar. Para salir de la perplejidad, es necesario que alguien sepa cuál de los ocho miembros disyuntivos del enunciado en cuestión es verdadero, para lo cual recurre a Dios. *Ergo*, si 'P v -P', entonces Dios existe. Raggio termina su análisis de los "irresolubles" con estas palabras:

> Las máquinas no pueden resolver ciertos problemas y tampoco los hombres, si se limitan a actuar como máquinas. Tal vez los hombres sean algo más que máquinas, pero aun en este caso, para poder revelar que lo son, necesitarían vivir indefinidamente para poder mostrar que conocen cada uno de esos infinitos enunciados para los cuales no existe método algorítmico de decisión. Pero esto, por nuestra finitud es imposible. Modificando un poco un famoso *dictum* de André Weil podemos decir: Hay cosas que las máquinas no pueden hacer; y esto es una prueba de la existencia de Dios. Tal vez los hombres sean algo más que máquinas, pero aun así, por su finitud, jamás podrán demostrarlo; y esto es una prueba de la existencia del Diablo.

Borges culmina la exposición de su sueño diurno con la afirmación, literaria, de la existencia de Dios, pero pese a eso no sabe todavía, ni lo sabemos nosotros ni lo sabremos ni lo sabrá jamás hombre alguno, cuántos pájaros vio aquella vez. De mi parte, pongo fin a mi circunloquio con una versión de aquellos versos de Goethe invocados como motivo:

Habitualmente el hombre
Cuando oye una palabra, tiene el convencimiento
De que además de un nombre
Se le ha dado con ella también un pensamiento.

Baste agregar, apenas, que están en el *Fausto* y los pronuncia Mefistóteles.

*Post Scriptum*: Estoy en deuda con Alberto Moretti por una corrección terminológica. También, por la observación de que hay un supuesto adicional en el argumento borgiano, y que contamina el mío, a saber: el compromiso con una lógica epistémica, para la cual es condición de la verdad de una creencia, el que alguien la sostenga. Para el caso de Borges, adicionando el supuesto, un "materialista y ateo" tendría que rechazar juntamente el tercero excluido y la lógica epistémica. Concedido, y para mi caso lo concedería –y tal vez Borges con el auxilio de otros textos suyos pueda ponerse bajo este paraguas–, siempre y cuando la concesión no quiera decir que hay creencias verdaderas o falsas independientemente de que alguien las sostenga, pues esto involucraría el problema de la Realidad. Una Realidad que hiciera verdaderas (o falsas) determinadas creencias aparte de cualquier sujeto, sería tan divina, por lo menos, como el Dios de Berkeley. En todo caso, mi compromiso implícito estaría con una concepción de la verdad como "desencomillado", análoga a la de Alfred Tarski. El "materialismo lógico" buscaría su lugar entre la variedad del pragmatismo, y no se apartaría de mis propósitos.

## B I B L I O G R A F Í A


Borges, J.L., *Obras Completas*, en tres tomos, 1993. La primera edición de *El Hacedor*, libro del que forma parte *Argumentum Ornitologicum* es de 1960.

Kant, I., *Crítica de la razón pura* (Cfr. en particular la subdivisión "Dialéctica trascendental", de la "Teoría trascendental de los elementos" y el capítulo aludido de la "Teoría trascendental del método").

Lorenzen, P., *Pensamiento metódico*, 1973 (Traducción por Ernesto Garzón Valdés de *Metodisches Denken*, 1968. (Cfr. en particular el capítulo "Estructuras lógicas en el lenguaje", pp. 58-67; la fórmula indeterminada dialógicamente que considera es "Si -(A.B) entonces -A v -B", pp. 64-65).

Martin, G., *Kant, ontología y epistemología*, 1961 (Traducción por Luis Felipe Carrer y Andrés Raggio de *Immanuel Kant. Ontologie und Wissenschaftstheorie*, 1950 (Cfr. en particular, el Cap. III: "El ser de la naturaleza", pp. 71-101).

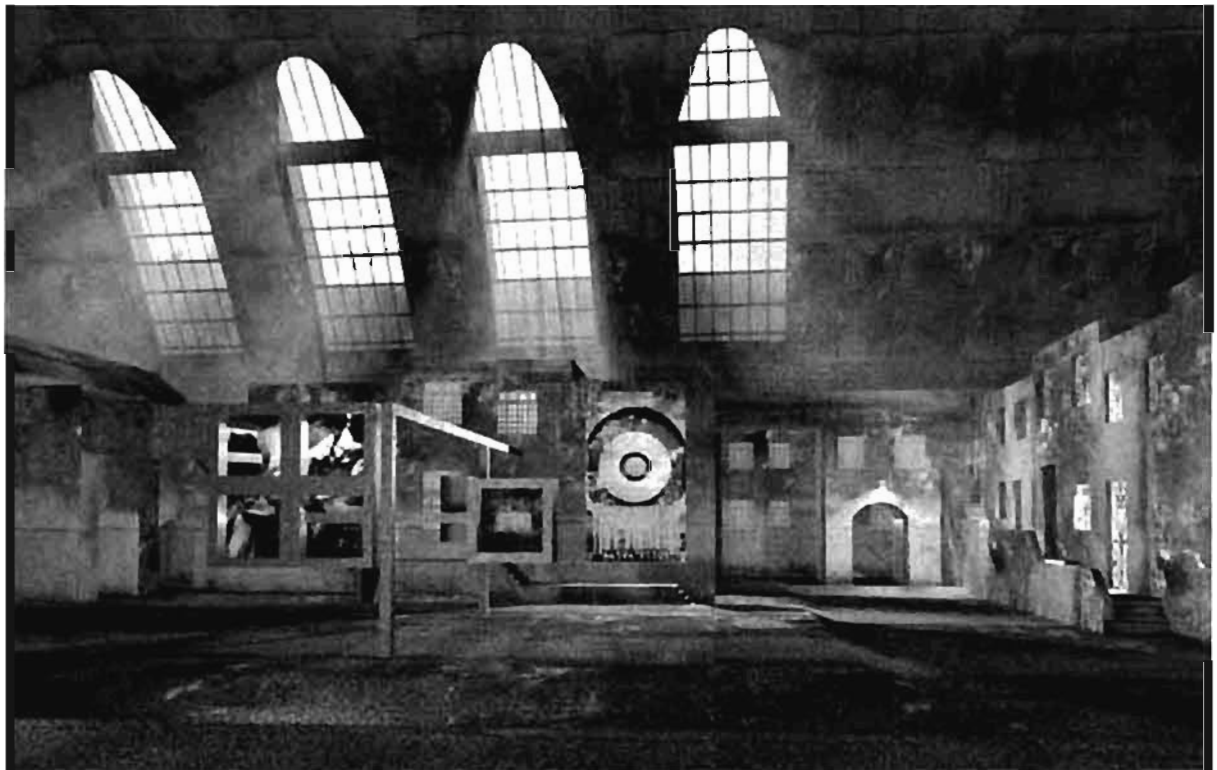
Raggio, A., *Alcance y límites de la mecanización en lógica*, *Cibernética*, 1968, ed. por Luis Maltese de las contribuciones al "X° Curso de temporada *Cibernética y Sociedad*, organizado por la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Sábato, E., *El escritor y sus fantasmas*, 2a. edición, 1964 (Cfr. "Borges y el destino de nuestra ficción", pp. 245-257, en particular, p. 249).



***Daniel Vera es profesor de la Facultad de Filosofía de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.***


© **Oscar Guzmán**. *Mercado (Viejo Gálvez)*, de la serie Ciudad Gálvez, 1995-2000.



© **Oscar Guzmán**, *Ciudad Gálvez en la distancia las majestuosas Cúpulas Flotantes* de la serie Ciudad Gálvez. 1995-2000

# Fijación biológica de nitrógeno

Beatriz Eugenia
**Baca**
Lucía
**Soto Urzúa**
Ma. Patricia A.
**Pardo Ruiz**

Dos fenómenos biológicos fundamentales aseguran la disponibilidad del carbono y del nitrógeno en los organismos vivos a partir del gas carbónico y del nitrógeno molecular del aire: la fotosíntesis y la fijación biológica del nitrógeno. La fotosíntesis es realizada por los vegetales y algunos procariotes, la fijación del nitrógeno únicamente por los procariotes. La fijación del nitrógeno (FN) funciona en bacterias adaptadas en ambientes ecológicos y estilos de vida muy diversos. Sin embargo, todas poseen el sistema enzimático responsable de la reducción del nitrógeno: La nitrogenasa.

El nitrógeno molecular ($N_2$) es la única reserva de nitrógeno (N) accesible en la biosfera. Prácticamente ilimitada, esta reserva no es directamente utilizada por los vegetales y animales. El N es un constituyente esencial de moléculas fundamentales de todos los seres vivos: aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, vitaminas, etcétera. Para que el $N_2$ pueda ser asimilado, es necesario que sea reducido. Los únicos seres vivos capaces de realizar esta reacción son las *Eubacteria* y *Archaea*, por el proceso denominado fijación biológica de nitrógeno (FBN). La atmósfera contiene alrededor de $10^{15}$ toneladas de gas $N_2$, y el ciclo del nitrógeno involucra la transformación de unas $3 \times 10^9$ toneladas de $N_2$ por año. Las transformaciones no son exclusivamente biológicas: las radiaciones ultravioleta representan el 10% del aporte global; la industria de los fertilizantes aporta un 25%, por lo que la FBN corresponde al 60% aproximadamente. A nivel

mundial el consumo de fertilizantes nitrogenados aumentó de 8 a 17 Kg $ha^{-1}$ de suelo agrícola en un periodo de 15 años (1973-1988). Se predice que los requerimientos de fertilizantes nitrogenados aumentarán en el futuro; sin embargo, con la tecnología actual de producción de fertilizantes y los métodos de aplicación empleados que resultan poco eficientes, así como el costo y la contaminación ecológica que producen, su uso se hace más prohibitivo. Por más de cien años, la FBN ha atraído a los científicos interesados en la nutrición vegetal, y se ha explotado este conocimiento en la agricultura.[4]

La fijación química por el método de Haber-Bosch produce un rompimiento de la unión N≡N, por reducción del enlace de la molécula diatómica de $N_2$ a dos moléculas de $NH_3$, con el empleo de alta temperatura y presión en presencia de un catalizador. La FBN se enfrenta a las mismas barreras energéticas, pero opera en una forma más sutil a temperatura ambiente y presión parcial de $N_2$ de 0.78 atm; esto gracias a la acción combinada del complejo enzimático de la nitrogenasa (Nasa).

El descubrimiento de la fijación biológica de nitrógeno en las leguminosas remonta al siglo XIX. Los trabajos del francés Jean Batiste Boussingault y los de los alemanes Hermann Hellriegel y Hermann Wilfarth establecieron, en 1886, que la capacidad de las leguminosas de utilizar el $N_2$ del aire era debida a la presencia de "nudos" de la raíz inducidos por "fermentos" localizados en el suelo.[5] Este descubrimiento fue seguido rápidamente por el aislamiento de *Rhizobium* por Beijerinck a partir del chícharo (*Pisum*), y posteriormente por otras bacterias fijadoras de nitrógeno (FN) que no se encuentran asociadas a plantas, como *Azotobacter* y *Clostridium pasteurianum*.[7]

**FIGURA 1.** Nódulos de la raíz de una planta de chícharo que contiene *Rhizobium*; reduce el $N_2$ en $NH_3$ que la planta utiliza, a cambio ésta le proporciona fuente de carbono para el crecimiento del microorganismo. Los nódulos se desarrollan y son colonizados por la bacteria FN como un resultado del intercambio de señales químicas que se establecen entre los dos simbiontes.

Las bacterias FN presentan una muy amplia diversidad taxonómica, con diferentes estilos de vida y de asociación con los vegetales. Sin embargo, sólo una pequeña proporción de especies son capaces de hacerlo; 87 especies en dos géneros de arquibacterias, 38 de bacterias, y 20 géneros de cianobacterias se han identificado como diazótrofos.[4] Las más eficaces son aquellas que se asocian con las plantas y por medio de estructuras diferenciadas producidas por la planta hospedera, llamados "nódulos", localizados en la raíz de las leguminosas o de las plantas actinorizas. En el interior de estas estructuras se localizan los microorganismos, desarrollando una verdadera simbiosis con la planta; esta simbiosis representa un modelo biológico experimental biológico muy interesante para su estudio y, desde el punto de vista económico, ha abierto un campo de aplicación sumamente prometedor en la agricultura (Figura 1).

La simbiosis *Rhizobium*-leguminosas es el resultado de una interacción muy específica entre la bacteria y la planta. La organogénesis del nódulo es un proceso inducido por un "intercambio de señales" entre los dos participantes de la interacción, el microsimbionte (bacteria) y el macrosimbionte (planta). Es esencial la unión del microorganismo a los pelos radicales de la planta. Sustancias con efecto mitógeno (factores de nodulación) son sintetizadas por productos de los llamados genes de nodulación del microsimbionte (genes *nod*), en respuesta a la excreción por la planta de sustancias de tipo flavonoide. En la lucerna, el trébol y el chícharo, la bacteria infecta la raíz en la extremidad de los pelos radicales provocando la curvatura de éstos. Se promueve la penetración de la bacteria, formando el llamado "hilo de infección", en el interior del cual se desarrollan los microorganismos, éstos continúan hasta llegar al cortex radical. La infección conduce a la formación del meristemo nodular. La producción de los factores de nodulación induce, a distancia, la división celular a nivel del cortex.

Se estima que, actualmente, la FBN es de 200 millones de toneladas por año, es decir, dos veces la producción de fertilizantes nitrogenados producidos por síntesis industrial. Una de las simbiosis más efectivas es la que se establece entre *Bradyrhizobium japonicum*-soya, donde un 70% de FN por la bacteria es asimilada por la planta. En Brasil se ha empleado con éxito la fertilización biológica de soya con *B. japonicum* y 0% de aporte de N como fertilizante químico,

ello ha conducido a que este país sea el segundo productor de soya a nivel mundial.[1]

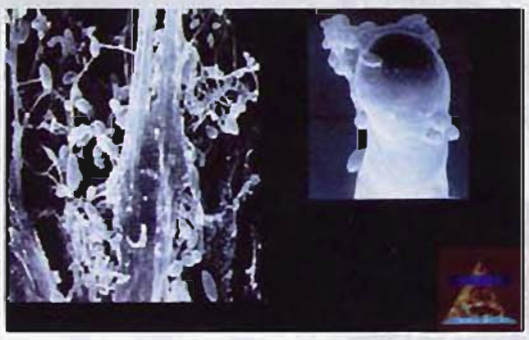
Existe una gran diversidad de simbiosis entre las no-leguminosas y las cianobacterias y aun entre los actinomycetos como *Frankia*; en este último caso, el estudio de la FBN tiene importancia a nivel de la reforestación; especies de este género se han aislado frecuentemente de árboles.

La FN en gramíneas es un reto biotecnológico. Las gramíneas cereales constituyen el componente más importante de la alimentación humana. El arroz, cuya producción anual es de 470 millones de toneladas, constituye el alimento primordial para un tercio de la población mundial. Tomando en consideración el desarrollo demográfico actual, se estima que su producción mundial deberá aumentar un 40% para el año 2020. Cantidades sustanciales de N son fijadas biológicamente en la agricultura del trópico, en particular por cultivos que reciben poco o nada de fertilizante químico nitrogenado. La investigación en bacterias FN asociadas a gramíneas condujo en los años setenta al descubrimiento de un género FN: *Azospirillum*, que rápidamente se denominó PGPR (plant growth promoting rhizobacteria), "bacteria promotora del desarrollo vegetal"; siendo además un sistema modelo de estudio de la interacción microorganismo-planta, para las monocotiledóneas; estas asociaciones no desarrollan estructuras diferenciadas en las que se alberguen los microorganismos.[3] En este caso las bacterias FN se localizan en la superficie de la raíz y en el suelo que la envuelve, la rizosfera de la planta hospedera; esta asociación es identificada por medio de una tinción *in situ* (Figura 2), en donde se observan las células firmemente adheridas a la superficie de la raíz.

Hasta el presente, los rendimientos obtenidos por la inoculación del microorganismo a las gramíneas han aportado resultados muy variables, pero esperanzadores. Es claro que el actual conocimiento de la interacción planta-microorganismo es aún limitado para poder ser utilizado a nivel masivo; sin embargo, en países subdesarrollados, aumentos de rendimiento en la producción del grano, aun pequeños, podrían repercutir en la economía de estos países.[1]

En los últimos años se ha descrito otro tipo de asociación de diazótrofos en la cual la bacteria (llamada bacteria endófita) se localiza en el interior de la raíz, el tallo y las hojas de la planta. El sistema de la raíz de la planta ofrece varios microambientes para el desarrollo del microorganismo; algunos se aíslan en número importante (más de $10^5$ células por gramo de peso seco de la raíz) a partir de la superficie de las raíces "esterilizadas". Sin embargo, estos métodos de aislamiento no son suficientes para demostrar que los diazótrofos pueden colonizar los tejidos internos de la planta; es necesario localizar e identificar a la bacteria por estudios microscópicos que aseguren que las células aisladas se localizan en el interior y no por contaminación de los tejidos internos durante el procedimiento. Este estudio se ha aplicado en aislamientos de diazótrofos de plantas forrajeras de Pakistán, en donde se identificó un nuevo FN llamado *Azoarcus*; este microorganismo se localiza en las capas ex-

**FIGURA 2.** Colonización de la superficie de la raíz de trigo por *Azospirillum brasilense*.



PANEL A. La coloración azul es debida a la presencia de un gene, que permite la detección de la bacteria; se observa también el aumento considerable de los pelos radicales.

PANEL B. Testigo de la raíz no colonizada.

temas del cortex; una vez en el interior de la planta se disemina a los tejidos aéreos probablemente por medio de los vasos del xilema. En experimentos de inoculación con *Azoarcus* al arroz, se logró la colonización del microorganismo y la expresión de la nitrogenasa. La bacteria invade las raíces en la zona de alargamiento y diferenciación, coloniza el cortex intra e intercelularmente, penetrando en el sistema vascular en los vasos del xilema, permitiendo la diseminación sistémica del tallo del arroz; este resultado estimula a continuar con un análisis más detallado de la interacción *Azoarcus*-Arroz e iniciar el empleo del microorganismo en el mejoramiento de la producción del cereal.[8]

La colonización de tallo y hojas por *Acetobacter diazotrophicus* es especialmente pronunciada en la caña de azúcar; este microorganismo ha sido aislado recientemente de la rizosfera del café por investigadores de nuestro centro de investigación (Grupo de Microbiología del Suelo),[5] extendiendo la colonización endofítica a plantas no gramíneas. En la asociación de *A. diazotrophicus* con algunos cultivos de caña de azúcar en Brasil, se han descrito rendimientos de FN de 160 Kg/N por hectárea, una fijación similar se ha observado en las leguminosas.[1]

## NITROGENASAS

Todos los microorganismos que convierten el $N_2$ en amoniaco lo hacen gracias a la actividad del complejo enzimático Nasa; la enzima requiere de la colaboración de otras dos proteínas llamadas ferrodoxina y flavodoxina; éstas actúan como donadores de electrones y reductores naturales de la Nasa.

El complejo enzimático Nasa, que cataliza la reducción del $N_2$ en amoniaco, está constituido por dos metaloproteínas, y contiene tres tipos de grupos prostéticos. La nomenclatura para designar estas proteínas es variable. Así, la proteína I es llamada también dinitrogenasa o "Fierro-molibdeno-proteína". El otro componente, la proteína II, es igualmente nombrada dinitrogenasa reductasa o "Fierro-proteína". Para su funcionamiento, el complejo requiere un donador de electrones de bajo potencial, de la hidrólisis de ATP y de un ambiente estrictamente anaeróbio. La proteína I es un tetrámero de alrededor de 220,000 Da, formado por dos tipos de subunidades $\alpha_2\beta_2$, de masa molecular semejante, y que son los productos de los genes *nifDK*. Esta proteína contiene el cofactor con fierro y molibdeno (FeMo-Co). La composición metálica global de la proteína I es de 2Mo, 30 Fe y 30S. Por lo tanto, la proteína contiene además dos grupos prostéticos diferentes: cuatro grupos 4Fe-4S, llamados grupos P ligados de manera covalente a residuos de cisteína de las subunidades $\alpha$ y $\beta$ y los dos grupos FeMoCo unidos a la subunidad $\alpha$, donde se propone que son transportados los electrones y es reducido el $N_2$. La proteína II es un dímero de alrededor de 68,000 Da, formado por dos subunidades idénticas unidas por un grupo prostético único de 4Fe-4S. El gene responsable de la síntesis de esta proteína es *nifH*. Esta proteína tiene la función de transportar los electrones del donador fisiológico de electrones (ferrodoxina o flavodoxina), hacia la proteína I para llevar a cabo la reducción de la

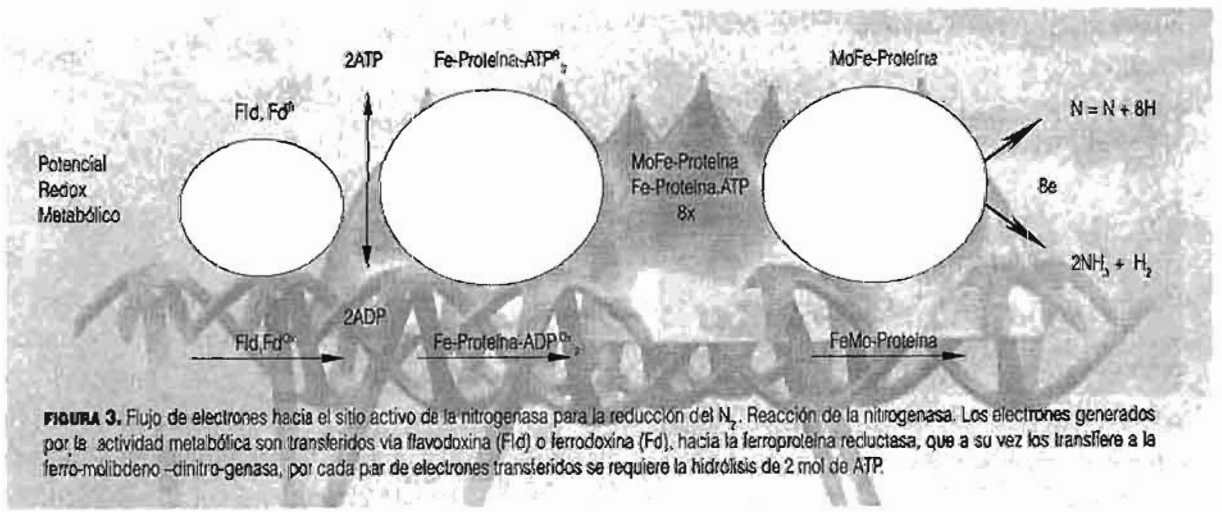



**FIGURA 3.** Flujo de electrones hacia el sitio activo de la nitrogenasa para la reducción del $N_2$. Reacción de la nitrogenasa. Los electrones generados por la actividad metabólica son transferidos vía flavodoxina (Fld) o ferrodoxina (Fd), hacia la ferroproteína reductasa, que a su vez los transfiere a la ferro-molibdeno –dinitro-genasa, por cada par de electrones transferidos se requiere la hidrólisis de 2 mol de ATP.

molécula de $N_2$, (Figura 3). La Nasa es sumamente lábil a la inactivación por el $0_2$; de hecho, para su purificación se requieren condiciones anaeróbicas estrictas debido a que el cofactor FeMoCo es irreversiblemente desnaturalizado y oxidado (Figura 4). La FBN es un proceso que requiere un gasto considerable de energía, de ahí que su biosíntesis esté sometida a una estricta regulación. Ha sido determinado que, bajo condiciones de laboratorio, se requieren 16 moléculas de Mg-ATP y se produce además una molécula de $H_2$. La ecuación global es:

$$N_2 + 8H^+ + 8e^- + 16\,Mg{\cdot}ATP \rightarrow 2NH_3 + H_2 + 16Mg{\cdot}ADP + 16Pi$$

En condiciones naturales se ha estimado que la demanda energética es mucho mayor de 20-30 moléculas de ATP. Por esta razón; los microorganismos han seleccionado mecanismos para inactivar a la enzima cuando está disponible el nitrógeno combinado; esto le permite mantener las necesidades del microorganismo y evitar un gasto energético inútil.

La hidrólisis de ATP está acoplada a la transferencia de electrones ($e^-$) hacia la proteína I; dos moléculas de ATP son hidrolizadas por cada par de $e^-$ transferidos. Se piensa que los grupos P tiene una función en la transferencia de $e^-$. De manera similar, el complejo de la Nasa cataliza igualmente la reducción de análogos estéricos del N, en particular el acetileno, que es reducido a etileno. Esta propiedad es la base de un método relativamente sencillo para analizar la actividad de la Nasa por cromatografía en fase gaseosa. Este método ha permitido también el descubrimiento de otros diazótrofos utilizando el sencillo medio de cultivo sin nitrógeno llamado nfb (nitrogen fixation biological), descrito en Brasil por Joanna Döbereiner.[1] En este medio se adiciona una fuente de carbono y algunas sales, la fuente de N es el molecular, por lo tanto los únicos microorganismos que se desarrollarán serán aquellos que sean capaces de FN. Se inocula al medio una porción de raíz, del nódulo o bien la bacteria ya aislada por picadura y el desarrollo del microorganismo se realizará en la zona en la cual exista una $p0_2$ menor a 0.02% (microaerofilia) debido a que, como ya se mencionó, la enzima es sumamente sensible a este gas. Este método ha permitido aislar e identificar diazótrofos de diferentes habitats.

En 1972, Dixon y Postgate (citado en 3), transfirieron los genes *nif* (por nitrogen fixation) de *Klebsiella pneumonie* a *Escherichia coli* creando una nueva especie fijadora de nitrógeno. Ello condujo a proponer, como una solución al problema de la nutrición vegetal, la transferencia directa de los genes *nifHDK* a las plantas. Este objetivo está lejos de ser obtenido, ya que la genética de la FBN ha resultado sumamente compleja y está sometida a un control estricto y refinado, justamente por la importante demanda energética. Se han descrito alrededor de 20 genes involucrados en la FBN, cuya secuencia y funciones han sido ya determinadas. Se ha descrito también que los genes estructurales de la Nasa están sumamente conservados, así como un cierto número de otros genes cuyos productos juegan un papel en la maduración de la enzima, la síntesis del cofactor, el transporte de Molibdeno (Mo) y la regulación.[3]

En el microorganismo diazótrofo de vida libre *Azotobacter vinelandii*, se describieron por vez primera tres Nasas diferentes. Una de ellas es la "convencional" Nasa a Mo. Esta Nasa-1 es expresada en medio que contenienе Mo. Las otras dos, llamadas Nasas "alternativas", incluyen a la Nasa-2; ésta es un complejo enzimático que contiene Vanadio (V) en lugar de Mo. Tal complejo enzimático está formado por dos componentes: la dinitrogenasa reductasa-2, un dímero de dos subunidades idénticas, y la dinitrogenasa-2, la cual es un hexámero de MMr 240,000 Da con tres tipos diferentes de subunidades (α, β y δ). La dinitrogenasa reductasa-2 tiene una masa molecular relativa de alrededor 62,000 Da, contiene cuatro átomos de Fe y cuatro grupos -SH ácido lábil por dímero; la dinitrogenasa-2 contiene dos átomos de V, 23 átomos de Fe y 20 grupos -SH ácido lábil por molécula. El cofactor FeVaCo análogo al FeMoCo se ha extraído de la dinitrogenasa. La Nasa-3 contiene Fe en lugar de Mo y V. Constituida también por dos componentes, la dinitrogenasa reductasa es un dímero de 65,000 Da y dos subunidades idénticas; la dinitrogenasa es un tetrámero de dos subunidades (α y β); esta última Nasa tiene un gasto energético de ATP mucho mayor.[2]

Un reciente y excitante hallazgo realizado por investigadores alemanes (Meyers y cols.,[9]), se refiere a una Nasa aislada de *Streptomyces thermoautotrophicus*, la cual presenta varias características originales: los requerimientos energéticos (ATP) son considerablemente menores, la reacción está acoplada a la oxidación del monóxido de carbono (CO) por una enzima adicional, la molibdeno CO deshidrogenasa, que transfiere los electrones derivados de la oxidación

de CO al $O_2$, produciendo radicales del anión superóxido ($O_2^-$). Una superóxido reductasa reoxida los aniones $O_2^-$ a $O_2$ y transfiere los electrones a la Fe-Mo S dinitrogenasa para la reducción de $N_2$ a amonio; la enzima no es capaz de reducir etino y eteno; además, es relevante destacar que los componentes de la Nasa son expresados constitutivamente; todo lo anterior hace a esta nueva Nasa sumamente atractiva para su estudio molecular. En resumen, una de las más sorprendentes propiedades del complejo enzimático de la Nasa de *S. thermoautotrophicus* es su dependencia del $O_2$ y la insensibilidad de todos los componentes al $O_2$ y $H_2O_2$. Los componentes de esta Nasa son estructuralmente diferentes de las otras Nasas, por lo tanto, los genes que codifican para este complejo enzimático no están relacionados con los genes de las "Nasas convencional y alternativas".[9]

Estequiometría de la Nasa de *S. thermoautotrophicus*.

$$N_2 + 8H^+ + 8e^- + 4\text{-}12\,Mg\text{-}ATP \rightarrow 2NH_3 + H_2 + 4\text{-}12Mg\text{-}ADP + 4\text{-}12Pi$$

## CONCLUSIONES

El avance de las investigaciones en los últimos 20 años ha sido muy importante, si se considera la complejidad de los sistemas enzimáticos involucrados, la fisiología del microorganismo en relación con la producción de energía, las características de la interacción microorganismo-planta y las estrategias seleccionadas en el proceso evolutivo para el control de la FBN. La FBN a amonio es realizada únicamente por procariotes y, en microorganismos con Nasas "convencionales", es un proceso muy sensible al oxígeno. Por otra parte, el proceso de FBN es un componente crítico en el ciclo global del nitrógeno de relevante importancia ecológica. Los mejores fijadores son los que establecen una simbiosis con plantas superiores en la cual la energía para la FN y, en general, el sistema de protección al $O_2$ es proporcionado por la planta. Dentro de los diazótrofos se incluyen los asociados, de vida libre, simbióticos y endófitos.

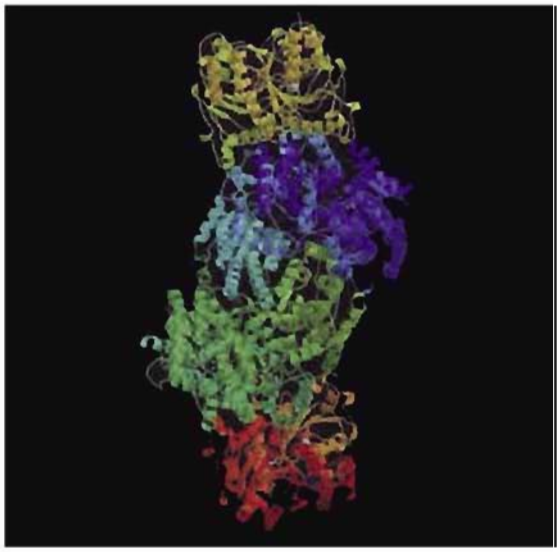


**FIGURA 4** Estructura tridimensional del complejo enzimático Nitrogenasa a fierro y molibdeno, de *Azotobacter vinelandii* obtenido por difracción rayos X. Componente I Fierro-Molibdeno dinitrogenasa reductasa, heterodímero cadenas a y ß (azul, verde). Componente II Fierro-proteína homodímero (amarillo, rojo, naranja). Tomado de: Structure of Adp Xalf4(-)-stabilized nitrogenase complex and its implications for signal transduction. 1997. H. Schindelin, C. Kisker, J.L. Schlessman, J.B. Howard and D. Rees., *Nature* 387:370.

La FBN es el mecanismo principal de aporte de N en los ecosistemas naturales y es muy importante en la agricultura del trópico. En varios suelos tropicales, debido al bajo intercambio de iones y a la mínima retención de agua de la fracción mineral, la fertilidad del suelo está estrechamente relacionada con el contenido de materia orgánica del suelo. Como el $N_2$ es el elemento más fácilmente perdido cuando la mineralización de la materia orgánica del suelo es estimulada por el arado del suelo, es frecuente que este elemento controle la materia orgánica del suelo y, por lo tanto, su fertilidad. La aplicación continua de fertilizantes no puede ser una opción sostenida para el tercer mundo, ya que los precios de los energéticos son muy elevados, son contaminantes de los mantos acuíferos y muchas veces son perdidos por lexiviación.

El nitrógeno de la biósfera está sujeto a un rápido recambio, y debido a que es perdido como $N_2$ a la atmósfera, su mantenimiento requiere de un continuo reemplazo con N reducido a partir del $N_2$ atmosférico. La Nasa de *S. thermoautotrophicus* puede ser una enzima que esté distribuida en microorganismos aislados de ambientes extremos, aspecto que no había sido explorado con anterioridad y abre expectativas alentadoras para la manipulación por ingeniería genética de este complejo enzimático debido a su tolerancia hacia el oxígeno, de tal manera que será relativamente más sencilla su caracterización bioquímica, genética y molecular.

Esta revisión reconoce el papel de la FBN como una manera más efectiva, menos cara y no contaminante, para mejorar la fertilidad del suelo comparada con otras vías (como la fertilización química y la orgánica), las cuales presentan altos niveles de contaminación con metales pesados, sales nitrogenadas y microorganismos patógenos para el hombre. En nuestro estado

de conocimiento actual, tomando en consideración la producción obtenida, la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa es superior a los otros sistemas FN; sin embargo, la investigación reciente realizada con los endófitos podría representar la mejor fuente de fertilizantes "ideales", por lo que demandan un gran interés como área de futura investigación.

## REFERENCIAS


[1] Baldani, J. I., Caruso, L., Baldani, V.L.D., Goi, S. R., and Döbereiner, J., 1997. Recent advances in BNF with non-legumes plants. Soil Biol. Biochem. 29:911-922.

[2] Bishop, P.E., and Premakumar, R., 1992. Alternative nitrogen fixation systems. In Biological nitrogen fixation. Eds G. Stacey, R.H. Burris, and H. J. Evans. pp736-762., Chapman & Hall.

[3] Elmerich, C., 1993. Fixation biologique de l'azote. Ann Institut Pasteur, 4:133-153.

[4] Hussein Zahran, H., 1999. *Rhizobium*-Legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. Microbiol. Mol. Biol. Rev. 63:968-989.

[5] Jiménez-Salgado T., Fuentes-Ramírez, L. E., Tapia-Hernández, A., Mascarúa-Esparza, M., Martínez-Romero, E., and Caballero-Mellado, J., 1997. *Coffea arabica* L., a new host plant for *Acetobacter diazotrophicus*, and isolation of other nitrogen-fixing Acetobacteria. Appl. Environ Microbiol. 63:3676-3683.

[6] Levellay, J., 1988. L'azote et la vie: l'ouvre de Jean Baptiste Boussingault. Vies Scientifiques CR5, 59-72.

[7] Nutman, P.S., 1987 Centenary lecture, Phil Trans Real Society London B 317: 69-106.

[8] Reinhold-Hurek, B., and Hurek, T., 1998. Life in grasses: diazotrophic endophytes. Trends Microbiol. 139:139-143.

[9] Ribbe, M., Gadkari, D., and Meyers, O., 1997. $N_2$ fixation by *Streptomyces thermoautotrophicus* involves a molybdenum-dinitrogenase and a manganese-superoxide oxidoreductase that couple reduction to the oxidation of superoxide produced from $O_2$ by molibdenum-CO dehydrogenase. J. Biol. Chem. 272:26627-26633.



***Beatriz Eugenia Baca y Lucía Soto Urzúa son investigadoras del Centro de Investigaciones Microbiológicas del ICUAP; Patricia A. Pardo Ruiz es profesora de la Facultad de Medicina de la Univesidad Autónoma de Puebla.***

© **Oscar Guzmán**, *Rincón sereno (después de la evacuación de Gálvez)* de la serie **Ciudad Gálvez**, 1995-2000.

© **Oscar Guzmán**, *Estación de cicloides urbanos (San Quintín)*, de la serie **Ciudad Gálvez**, 1995-2000.

# Los elementos de **Elementa**, museo de ciencias

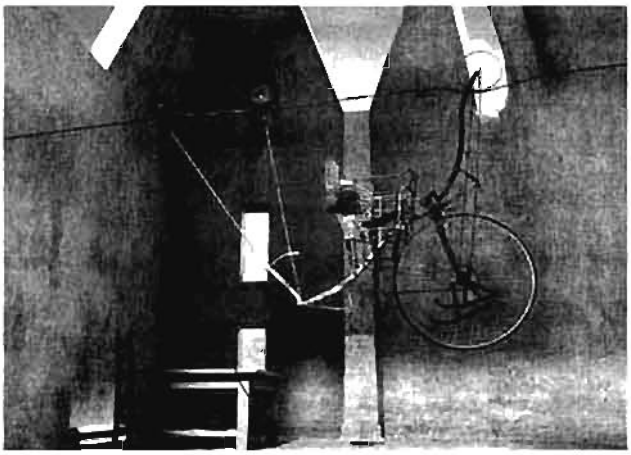
Julia **Tagüeña**
Katya **Luna**
Mónica **Bolton**

## ANTECEDENTES

La labor de los museos como centros difusores de la cultura es un hecho debidamente reconocido por las sociedades modernas en todo el mundo, trátese de museos de arte o de ciencia y tecnología. En lo que se refiere concretamente a estos últimos, dicha labor ha ido evolucionando al grado de que la concepción u objetivos para los que fueron creados representa un indicador del desarrollo de la cultura de las sociedades. Ya no basta exhibir en vitrinas el conocimiento y sus frutos, sino que éstos deben, cada vez en mayor medida, estar al alcance del público en general puesto que la socialización del conocimiento es cultura y produce cultura.[1]

Por otro lado, gracias a la labor de divulgación científica se ha avanzado en la comprensión cabal de que la ciencia es parte de la cultura, del conocimiento universal del ser humano y, como tal, constituye una actividad unificadora que se propone como una de las mejores herramientas para comprender el mundo, para proporcionarnos bienestar e incluso para fomentar la democracia como antídoto contra la superstición, el fanatismo y la ignorancia.[2]

La búsqueda de nuevos espacios para la difusión de la cultura científica ha llevado a los museos de ciencias del mundo a proponer opciones de aprendizaje cada vez mejor logradas. La Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), consciente de la necesidad de acercar la ciencia a la población en general, ha visto la necesidad de promover un museo de ciencias y pone en marcha, en septiembre de 1998, el proyecto Elementa, Museo de Ciencias, en la ciudad de Cuernavaca, Morelos.



© Oscar Guzmán. *Raro documento del Ciclovía urbano*, de la serie Ciudad Gálvez, 1995-2000.

### ELEMENTA, MUSEO DE CIENCIAS

No es casual que este museo reciba el nombre de Elementa, si pensamos en la gama de sus significados. Elemento como "lo elemental", lo primario, el inicio, el punto de partida; elemento como la fracción mínima en la que se puede dividir algo; los elementos como los fundamentos, las nociones y los principios de las artes, de las ciencias; los elementos como principios constitutivos de los cuerpos vivos y de la materia terrestre: carbón, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre, entre otros; los elementos fundamentales del pensamiento cosmogónico –aire, tierra, agua y fuego– de culturas antiguas tales como los griegos, los chinos, los mexicas y los mayas.

Elementa pues, inicia con lo elemental, lo cercano, lo cotidiano; con un punto de partida familiar que propicia el contacto con la ciencia. Propiciar el contacto se convierte en la tarea educativa del Museo, vinculando a la población con los artistas y científicos de nuestro país, en especial los muchos que laboran en el estado de Morelos. El reto de este museo es construir puentes que comuniquen a los visitantes con los elementos culturales, permitiendo contactos que se mueven inicialmente en el terreno de las sensaciones, para posteriormente explorar el terreno formal de la indagación.

### CÓMO ESTÁ ESTRUCTURADO ELEMENTA

Bajo un ambiente de actitudes creativas, Elementa ofrecerá a los visitantes un espacio para estar, un tiempo para ver y tocar, un lugar para hacer y una posibilidad para darse cuenta. Basado en el concepto de los cuatro elementos –agua, tierra, aire y fuego– y en la estructura de la materia, este museo contendrá todas las ciencias: naturales, exactas y sociales, en su desarrollo histórico y en su vinculación con el arte. También incluirá la luz y el universo y un espacio de educación ambiental, donde se presentarán los excesos cometidos por nuestra civilización así como las alternativas para resolverlos.

En cuanto al diseño arquitectónico escogido y realizado en el Taller de Diseño de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, es el del símbolo mesoamericano del movimiento Ollín[3] que, básicamente, es una equis en cuyos extremos quedarán situados los pabellones de los cuatro elementos y, en cuyo centro se localizará el pabellón de la estructura de la materia. Este pabellón contará con tres pisos: en la planta baja se exhibirá la estructura de la materia que engloba los avances y logros de la ciencia moderna; en el primer piso la luz y el universo, en el sótano excesos y alternativas. Mientras se desarrolla el proyecto arquitectónico, Elementa ha empezado a vivir a través de múltiples actividades,[4] en congruencia con su responsabilidad educativa.

Cada pabellón contará con una sala elemental, definida como el espacio integrador de las exhibiciones del pabellón, donde se invita a trabajar individualmente. En la sala elemental el visitante puede detenerse, observar y experimentar motivado exclusivamente por el impulso de aprender, contando con el apoyo de monitores o guías especializados, la presencia de expertos y la posibilidad de elegir libremente qué recorrido tomar. Esta sala dispondrá de la infraestructura necesaria para dar atención a grupos escolares, pequeños grupos de investigación y a personas con alguna discapacidad. Sus contenidos se refieren al elemento del pabellón en que está situada y su espacio está organizado en rincones de trabajo, destacando los siguientes: teatro y deporte, colecciones de manipulación y consulta, los vivos de la naturaleza, acertijos; lectura y narración, navegantes entre redes, galería, taller de artistas, etnorrincón, laboratorio, videos, rincón de espera y coordinación. La sala elemental es un espacio en movimiento y en constante evolución, representa uno de los aspectos más sobresalientes de la propuesta educativa de este museo.

## LOS PRINCIPIOS DE ELEMENTA

Dado que las diferentes culturas generan intereses y aportaciones específicas, un museo debe resaltar temas de interés local apoyándose en la experiencia y riqueza propias. Una de las principales riquezas de México es su pluralidad cultural y étnica. A través de su historia, el país ha recibido la influencia de muy diversos pueblos y se ha constituido como un mosaico cultural. La pluralidad se da también entre las diferentes profesiones. Los científicos y los artistas parecen a veces hablar idiomas distintos, aunque ambos grupos desarrollan la creatividad y constituyen parte del alma de un país. México también cuenta con una gran biodiversidad. Esto le confiere una gran responsabilidad en el cuidado del planeta y de las especies vivas que en él habitan. El respeto por la pluralidad cultural y la biodiversidad une a los habitantes del mundo.

Es fundamental y urgente formar a nuevas generaciones sensibles al cuidado de los recursos naturales; mientras más se extienda esta necesidad más rápido podremos frenar los excesos y daños que hemos inferido al planeta. Un museo de ciencias puede colaborar para crear esta nueva conciencia social.

El museo respaldará sus contenidos, la historia que va a contar y la actitud hacia los visitantes, en una serie de principios. En primer lugar, la responsabilidad de educar. En la concepción de Elementa está mostrar que la educación es el requisito y la alternativa para afrontar los problemas del mundo actual. En este contexto, *Elementa* es una propuesta educativa y ofrecerá las condiciones y los medios para que los visitantes desarrollen un proceso de aprendizaje guiados por su propio interés. Se espera que los visitantes participen como hacedores más que como espectadores.

El conocimiento científico es el mejor instrumento de que disponemos para llegar a comprender la naturaleza utilizando métodos y herramientas particulares. Sin embargo, es fundamental vincular el conocimiento científico con el humanístico y el artístico. La aparente fragmentación del conocimiento no es un reflejo del mundo sino un artefacto de la academia.[5] En Elementa se evitarán las barreras entre las diferentes disciplinas científicas que generalmente han tenido los programas educativos y los libros de texto, para dar un enfoque integral en el análisis de objetos y situaciones dadas.

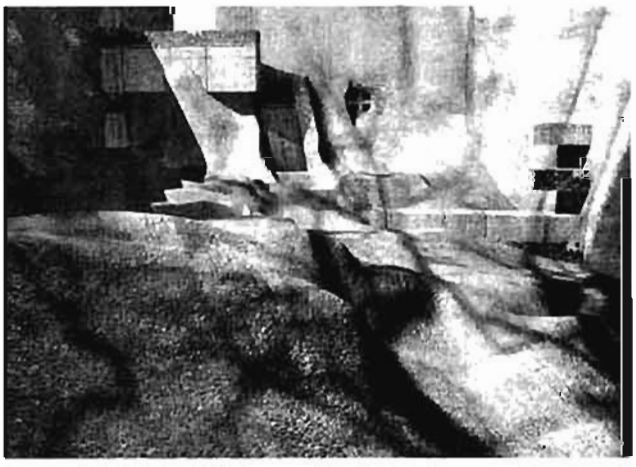
© **Oscar Guzmán**. *Ciclista urbano transita frente a la construcción conocida como El Espolón*, de la serie Ciudad Gálvez. 1995-2000.

La tecnología es un patrimonio cultural. La investigación tecnológica y la aplicación industrial del conocimiento científico constituyen un proceso social: el contexto cultural define la forma de hacer y de aplicar las diferentes tecnologías y éstas deben adecuarse a las características y los límites de los sistemas naturales. Las formas comunitarias del manejo de los recursos naturales pueden ser un ejemplo a seguir para alcanzar un desarrollo sustentable. Se resaltará la relación profunda entre la tecnología y los problemas locales.

El museo enfatizará el respeto y la admiración por lo diferente. Elementa enseñará y valorará las aportaciones al conocimiento de las diferentes culturas, a lo largo de la historia y a lo ancho del planeta. La identidad es una síntesis de la pluralidad. Elementa resaltará con orgullo las aportaciones que nos legaron las culturas mesoamericanas en el terreno científico, social, artístico y filosófico.

La conciencia en el cuidado del medio ambiente es un principio fundamental del Museo. Elementa debe poner el ejemplo y enseñar, entre otras acciones, el ahorro de energía, el proceso de reciclaje de la basura y la reducción del desperdicio. Esta meta se alcanzará ilustrando los daños que la acción del ser humano ha provocado en el planeta; fomentando una ética fundada en el conocimiento, la responsabilidad, el cuidado y el rescate de los recursos naturales, la austeridad en el consumo y el reciclaje de productos y desperdicios materiales; brindando un mensaje de cambio y de esperanza basado en los beneficios globales y en el bienestar social que podrán heredar las presentes y futuras generaciones. Se enfatizará la importancia de utilizar la energía responsablemente al explicar las diferentes fuentes energéticas y su efecto en el desarrollo social.

Finalmente, Elementa asume el compromiso social de educación con toda la población. El museo pondrá especial atención en que la población infantil desprotegida y de bajos recursos económicos pueda acceder a él por medio de campañas de ingreso gratuito o con bonos especiales. Elementa estará preparado para recibir a las personas que tengan alguna discapacidad así como a quienes no tengan las posibilidades económicas de visitarlo. Recibirá a visitantes de todas las edades, nacionalidades y condiciones.



© **Oscar Guzmán**, *Patio de la casa de Gilda*, de la serie Ciudad Gálvez. 1995-2000.

### LOS ELEMENTOS EDUCATIVOS

El concepto de la propuesta educativa de Elementa se basa fundamentalmente en la visión piagetiana[6] sobre la construcción del conocimiento en el cual la inteligencia se desarrolla como un proceso de estructuración, de adecuación y de equilibrio de los mismos. Este conocimiento está organizado como un todo y los elementos que lo conforman mantienen entre sí numerosas y complejas relaciones de manera tal, que la incorporación de nuevos elementos da lugar a una mayor complejidad de relaciones que se establecen entre ellos.

A esta incorporación de elementos o esquemas se le considera como un conocimiento globalizador y, en la medida en la que estos esquemas aumentan, el aprendizaje tiene un significado mayor. El conocimiento significativo, como lo expresa Piaget,[6] tiene que ver necesariamente con la interconexión entre la experiencia empírica y el racionalismo: el conocimiento se origina a partir de la experiencia sensorial y de la razón, esto es, se construye desde dentro.

En este contexto de aprender a aprender, lo que se espera es que los objetivos del conocimiento sufran adecuaciones sucesivas. La evaluación se centra en la observación del proceso de aprendizaje con el fin de determinar el nivel de comprensión del contenido y la utilización del conocimiento en situaciones nuevas. Dicha evaluación implica que se diluya la división entre temas y disciplinas y se pongan en juego propuestas interdisciplinarias; se trata, entonces, de un conocimiento holístico.

Otras consideraciones de la propuesta de Elementa están basadas en la experiencia del trabajo en los espacios integrales y multidisciplinarios[7] que parten de la necesidad vital de los niños y en el caso de

© **Oscar Guzmán**, *Interior (Escuela Superior de Minería)*, de la serie **Ciudad** Gálvez, 1995-2000

este museo, de todos los visitantes como principio activo pedagógico. En la retroalimentación a partir de la interacción con los objetos mínimos cotidianos y la posibilidad de que cualquier situación sea una situación de aprendizaje. En la experiencia afectiva implícita que resulta del esfuerzo de reconocer y de adecuar situaciones y estructuras nuevas.[8] En el diálogo y confrontación con otras formas particulares de percibir, de pensar, de estructurar y de expresar los tiempos y ritmos propios.[9] En la naturaleza multifacética de la creatividad donde se plantea que crear es lo que hace el artista, el compositor, el inventor, el científico. En los nexos y el común denominador entre el arte y la ciencia;[10] en la creatividad y el conocimiento;[11] en el movimiento corporal que propicia el aprendizaje; en los ritmos individuales para aprender y la formulación de preguntas adecuadas en el momento preciso por parte de los monitores y profesores. Elementa se propone considerar la educación como una obra de arte ejercida y promovida como tal.

En la práctica, estos conceptos de educación y aprendizaje se van a traducir en diversas acciones, empezando por aprovechar y potenciar la innata y sorprendente capacidad del ser humano, de ser curioso e inquisitivo, especialmente los niños y jóvenes, para buscar significados y hacer las conexiones necesarias en el terreno cognoscitivo, afectivo y sensorial. Potenciar su capacidad de percepción y asombro y reconocer la riqueza del saber que ya traen consigo, es decir, las representaciones y marcos de referencia en cuanto a sí mismos y a su entorno.

Se utilizará el trabajo en equipo como técnica de aprendizaje ya que se convierte en un semillero de ideas y experiencias y se invitará a los visitantes a conocer y adentrarse en la aventura que significan las distintas etapas de un proceso de investigación. Se iniciará esa aventura partiendo de un objeto, situación o necesidad concreta para derivar el cómo, por qué, cuándo, para qué, de la actualidad al pasado y del presente hacia el futuro.

El aprendizaje debe ser propiciado a través de la exploración motriz: es necesario tocar, desplazar objetos, tirarlos, recogerlos, subir, entrar, bajar, para aprender las formas, las dimensiones, las direcciones, las orientaciones, las superficies, los volúmenes, las texturas y propiedades de ciertos objetos.

Es importante reconocer el gran potencial pedagógico que brindan, tanto para niños como para adultos, la imaginación, la sorpresa, el juego, la expresión plástica, la creación literaria, la narración, la exploración, la representación y la disertación.

Los efectos de luz, sonido, colores, texturas, espacios y ambientes deben ser empleados para crear atmósferas que produzcan la sensación de bienestar, seguridad y atractivo necesarias para estimular el proceso de aprendizaje apoyándose, además, en la belleza, el movimiento, la simplicidad y funcionalidad de las exhibiciones, equipamientos y espacios.

Como un espacio activo, vivo y en movimiento, Elementa permitirá a los visitantes participar e involucrarse al grado de formar parte de las exhibiciones. A partir de un objeto mínimo cotidiano, dispuesto en forma accesible y hermosa, el visitante utilizará las herramientas de la ciencia y buscará explicar este objeto tanto como fenómeno natural como cultural, por sí mismo y como elemento de un proceso más amplio de vinculaciones y conexiones. El visitante se sentirá atraído, intrigado y estimulado en su apetito por el conocimiento, descubriendo respuestas y formulándose nuevas preguntas sin límite. Desarrollará su creatividad y pondrá en acción todos sus sentidos. En esta búsqueda fomentará una actitud gozosa y creativa: aprenderá disfrutando.

### PRIMERA EXPOSICIÓN DE ELEMENTA

El reto de un museo moderno es construir los puentes que comuniquen a los visitantes con los elementos culturales en ese espacio evocador, permisivo. Estos puentes nada tienen que ver con declaraciones permanentes de conceptos prefijados, sino con situaciones flexibles, cambiantes que se adecuan al paso del que visita. Los puentes son situaciones de intercambio, de acompañamiento, de estructuración de ideas al paso de la observación, de la conciliación conceptual.

Elementa se propone acompañar al visitante en sus procesos particulares de aprendizaje. Propone, induce, facilita. Deja de lado la estructura de un plan curricular y da lugar al deseo, a la necesidad adherida de saber. Propicia, sin prejuicio del deber saber, el contacto con los objetos y las situaciones y deja al tiempo que haga su labor.

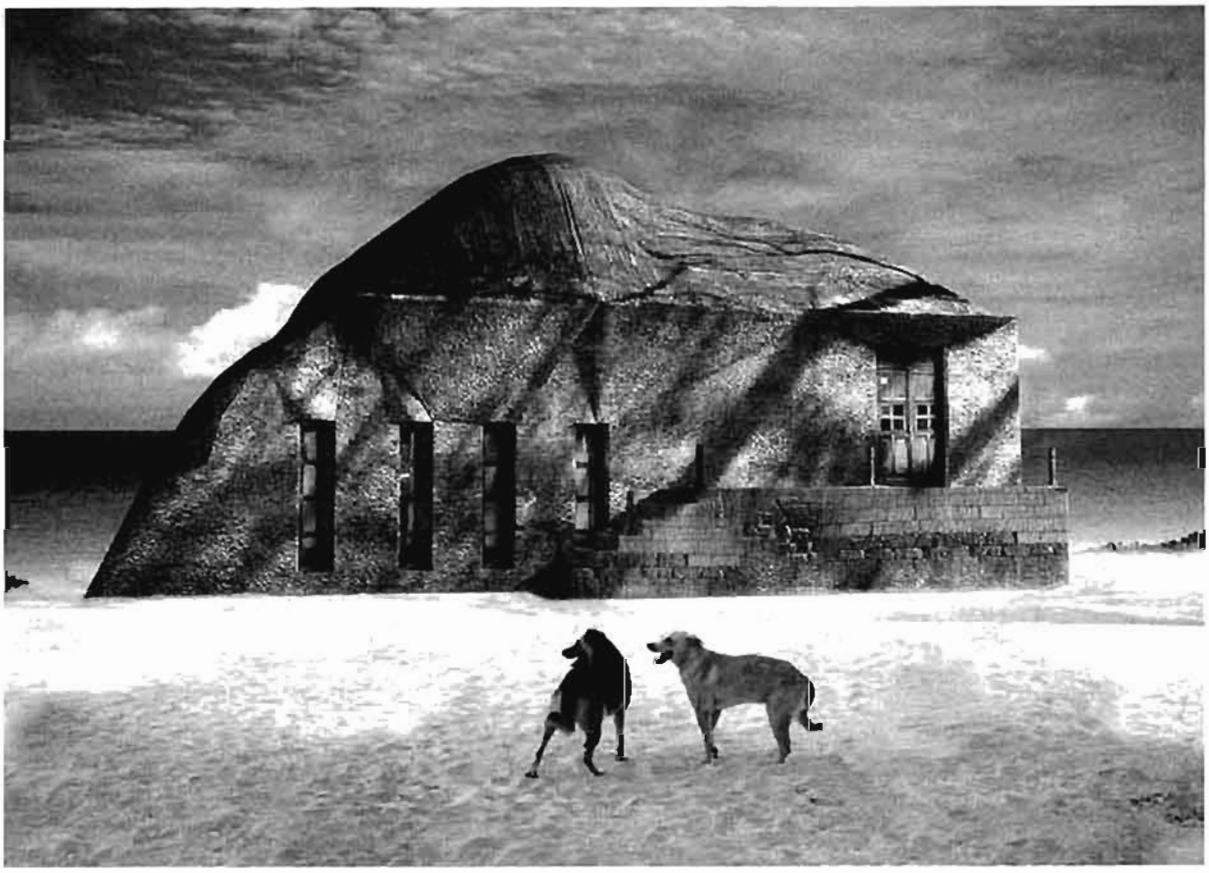
Elementa se dará a conocer próximamente con su primera exposición "ADN el secreto de la vida", que tendrá por tema el actual y controvertido manejo de la información genética para usos científicos y comerciales. Esta exposición se presentará en el espacio cultural La Tallera, en la ciudad de Cuernavaca, Morelos, siendo el responsable académico el doctor Edmundo Calva (IBT-UNAM). Se analizará, con ejemplos de un contexto natural, la expresión genética de la biodiversidad de las dos reservas de la biósfera que existen en el estado de Morelos, la Sierra de Huautla y el Corredor Biológico del Chichinautzin. También se presentará la biodiversidad intraespecífica de una especie en particular de estas regiones. El estudio de los genes es revisado desde el nivel macro hasta el nivel molecular haciendo hincapié en los procesos de replicación, transcripción y traducción de la información genética.

Esta primera exposición tiene que ver con la elección de "lo elemental" como el punto de partida del que se habló anteriormente: "cada ser vivo es diferente y sin embargo el punto de partida es común a todos, el ADN" en la selva baja caducifolia, en el bosque mesófilo de montaña, en los insectos y arácnidos que viven dentro de las bromelias epífitas de los encinos, en *Sceloporus grammicus microlepidotus*, en los acociles de las lagunas de Zempoala; en los vencejos, colibríes y

en el junco ojos de lumbre, en el *Homo sapiens*... el ADN ha hecho lo suyo: la diversidad en la continuidad.

En esta exposición, la comunicación con los visitantes se hace a través de múltiples lenguajes. Los ejemplares vivos en un hábitat natural, organismos y objetos preservados en colecciones, materiales gráficos, audiovisuales, cajas elementales, esculturas, grabados, sonidos, temperaturas, texturas, espacios para ver, espacios para reposar y asimilar lo visto, detalles de técnicas de investigación y todo ello sin perder de vista las conexiones que se pueden establecer entre uno y otro elemento. Los espacios de intercambio de ideas con los expertos constituyen un ámbito abierto de discusión sobre tópicos que están en efervescencia en los foros de análisis científico o en los medios masivos de comunicación. En este ámbito confluyen puntos de vista y disciplinas muy variadas abierto para el interés de

© **Oscar Guzmán**, *Casa de pescadores estilo Conchuela con perros guardianes*, de la serie Ciudad Gálvez, 1995-2000



cualquier persona. De esta forma la ciencia y la sociedad, de una manera muy directa y cotidiana, irán construyendo puentes de comunicación, de intercambio tangible que tiene una calidad humana que los medios de comunicación no pueden lograr.

La concepción educativa del museo es un campo de exploración tan vasto que da cabida a intereses diversos. Los elementos vivos, los objetos, las representaciones artísticas, la propuesta museográfica, los contenidos y las posibilidades de participación acompañada cuidadosamente por el equipo de monitores del museo favorecen que este espacio sea interesante, dinámico, sorpresivo y sobre todo un lugar con enormes posibilidades para ir aprendiendo. Se trata aquí de compartir estas ideas con todos los interesados y la revista *Elementos* es un lugar idóneo para la presentación de Elementa, Museo de Ciencias.

## REFERENCIAS


[1] De la contemplación a la interactividad. Una mirada histórica a los museos de ciencia, Octavio Plailsant Zendejas, *Investigación Hoy*, No. 80, 48, Instituto Politécnico Nacional, enero-febrero, México, 1998.

[2] Sagan, C., *El mundo y sus demonios*, traducción de Dolores Udina, Editorial Planeta, México, 1997.

[3] León-Portilla,M., *La filosofía náhuatl estudiada en sus fuentes*, FCE, México, 1956.

[4] "Actividades" en la página de internet www2.uaem.mx/elementa/

[5] Wilson, E. O., *Consilience. The Unity of Knowledge*, Alfred A. Knopf Inc., New York, 1998.

[6] Flavell, J. H., *The develpmental psichology of Jean Piaget*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1963.

[7] Trueba Marcano, B., *Talleres integrales en educación infantil*, Editorial de la Torre, Madrid, 1989.

[8] Gadner, H., *Educación artística y desarrollo humano*, Editorial Paidós, México, 1994.

[9] Klein, M., "Proponer el juego dramático es responder al desafío educativo de nuestro tiempo", en *Juego dramático y educación, entorno, arte y cultura*, Esc. Mun. Exp. Adj., Barcelona, 1993.

[10] Bartolomeis, F., *El color de los pensamientos y sentimientos*, Editorial Octaedro, Barcelona, 1994.

[11] Guildford, J. P., *Creatividad y educación*, Editorial Paidós, Buenos Aires, 1978.


© **Oscar Guzmán**, *Casa estilo Conchuela (Desembocadura del Río San Quintín)*, de la serie Ciudad Gálvez, 1995-2000

## ¿QUÉ ES LA VIDA?

**LYNN MARGULIS Y DORION SAGAN**
TUSQUETS EDITORES, 1996

¿Por qué ha creado la evolución una especie sensible? ¿Por qué evolucionó nuestra conciencia, nuestro conocimiento de la existencia misma? ¿Qué propósito tiene? El psicólogo Nicholas Humphrey ha sugerido que la capacidad de consultar el yo interior habría permitido a nuestros ancestros penetrar en la mente de sus parejas, retoños y demás miembros de los grupos sociales. Conocerse a sí mismo es la mejor manera de conocer a los demás, lo cual es ventajoso a la hora de negociar las complejidades de la vida social cotidiana.

Los seres humanos somos, por supuesto, animales. Desde hace tiempo pienso que la mejor manera de captar lo que significa ser un animal vivo es, simplemente, considerar la propia vida de uno. Con independencia de lo lejos que nos puedan haber llevado nuestras capacidades cognitivas y culturales de la existencia tradicional dentro del ecosistema local, seguimos obteniendo energía y alimento para desarrollar y mantener nuestra existencia corpórea. Muchos de nosotros (quizá demasiados) también nos dedicamos a la reproducción. Como Lynn Margulis y Dorion Sagan nos cuentan en *¿Qué es la vida?*, el mantenimiento de la existencia corpórea y la reproducción son actividades fundamentales, el auténtico sello de la vida. Conocerse a sí mismo como organismo consiste, pues, en establecer unos cuantos principios básicos comunes a todos los sistemas vivos.

Naturalmente, los humanos no constituimos la totalidad del universo biológico. No somos más que una de las decenas de millones de especies que habitan el planeta Tierra. No podemos esperar desentrañar todos los misterios de la vida, todos los diferentes matices de lo que significa estar vivo, simplemente consultando nuestro yo interior. Conocerse a sí mismo para conocer el mundo es un principio revelador, pero tiene limitaciones

inherentes. Ni siquiera yo, un biólogo evolutivo experimentado, estaba del todo preparado para el fantástico espectro de formas vivas que nos presentan Lynn Margulis y Dorion Sagan en *¿Qué es la vida?* En estas páginas encontramos organismos muy diferentes de nosotros. Y encontramos también concepciones de la vida que no podrían derivarse de la simple introspección.

*¿Qué es la vida?* es un festival de diversidad biológica e intelectual. Encontramos microbios —organismos microscópicos— para los que el oxígeno es un veneno, otros que "respiran" compuestos de azufre, y aun otros que se alimentan de hidrógeno y dióxido de carbono, sin hacer uso de la energía procedente de la luz solar o de la carne ajena. Encontramos bacterias que de manera rutinaria intercambian material genético con otras especies —aunque estén separadas por miles de millones de años de evolución. Comprobamos que la envoltura exterior de la Tierra puede describirse de manera convincente como un único macrosistema vivo. Y descubrimos que el proceso evolutivo que ha producido este prodigioso conjunto ha seguido caminos sorprendentes —en más de una ocasión a través de la fusión de organismos simples para producir descendientes más complejos. Tras este descubrimiento subyace una odisea intelectual de especial interés.

Darwin nos enseñó que toda forma de vida desciende de un único antecesor común. En *¿Qué es la vida?*, Margulis y Sagan nos hacen la sorprendente revelación de que nuestras células nucleadas de mamífero no sólo descienden de bacterias, sino que, literalmente, *son amalgamas de cepas bacterianas diversas*. ¡Asombroso! ¡La realidad supera la ficción! Una realidad insospechada por la biología tradicional, hasta que Lynn Margulis comenzó su investigación hace un cuarto de siglo.

El sueño de todo científico es hacer que se reescriban los libros de texto básicos. Lynn Margulis lo ha conseguido. Concibió una explicación lógica, aunque audaz, de un hecho relevante. Las células humanas, como las de cualquier otro animal, un eucalipto o una seta, tienen la mayor parte de su DNA, pero no todo, encerrado en un núcleo, netamente separado de los diversos orgánulos que se dibujan en el citoplasma celular. Fue ese "no todo" lo que atrajo su atención: se sabía que algunos de estos orgánulos extranucleares tienen su propio DNA —en concreto las "mitocondrias", las centrales de energía de las células animales y vegetales. En los vegetales, también los cloroplastos, donde se localiza la fotosíntesis, tienen su propio DNA. ¿Por qué? ¿Por qué estos orgánulos citoplásmicos contienen un juego independiente de genes, cuando todo el material genético "normal" está en cambio organizado en un doble juego de cromosomas encerrado por las paredes nucleares?

Las estructuras biológicas son reminiscencias de sucesos evolutivos pasados. Los cinco dedos de nuestras manos no se deben a eventos evolutivos recientes acaecidos hace un millón de años en las sabanas africanas, sino a la dotación original de cinco dedos en las patas delanteras de los primeros vertebrados terrestres ("tetrápodos") que evolucionaron hace unos 370 millones de años.

Del mismo modo, el DNA mitocondrial es una reminiscencia de un suceso evolutivo, pero de naturaleza diferente a la de cualquier otro evento considerado en los anales de la evolución. Lynn Margulis, para gloria suya, vio que el DNA extranuclear "implica la fusión de al menos dos clases distintas de organismos, cada uno con su propia dotación de DNA, para formar una unidad compleja: la célula "eucariota". Condenada en un principio como herejía, esta elegante idea tenía tanto en su favor que la comunidad biológica ha tenido que rendirse a la evidencia. Y es que no hay otra explicación plausible para la existencia de dotaciones genéticas separadas en una "única" célula.

En *¿Qué es la vida?*, Lynn Margulis y Dorion Sagan nos cuentan con todo detalle qué clases de bacterias se fusionaron para formar la primeras células nucleadas —nuestras células. Pero la mente de Margulis, siempre inquieta, no se ha quedado ahí. Este libro defiende la ocurrencia de fusiones bacterianas aún más antiguas. Margulis está convencida de que este origen simbiótico de nuevas formas de vida ("*simbiogénesis*") es un proceso mucho más frecuente de lo que nunca imaginaron los evolucionistas continuadores de la tradición darwiniana, una tradición que concede mucha más importancia a la competencia que a la cooperación en el proceso evolutivo. Ésta es la principal contribución de Margulis al discurso evolucionista, que se ha visto enriquecido con sus esfuerzos por revelar las grandes implicaciones latentes en la historia del mundo microbiano.

Pero, además de esta manera de pensar profundamente novedosa y nunca antes soñada, Margulis y Sagan tienen el mérito de ser incansables paladines del mundo microbiano. Ambos han trabajado denodadamente, haciendo casi de relaciones públicas, para poner de manifiesto la inmensa diversidad de microorganismos. Pues los microbios no solamente heredarán la Tierra (nosotros, criaturas pluricelulares complejas, muy bien podríamos figurar entre las víctimas del próximo episodio de extinción en masa), sino que llevan aquí mucho más tiempo que nosotros; en un sentido muy real son los auténticos "dueños" del sistema global, y con toda certeza ejercen el control de éste. Se encargan de fijar y reciclar el nitrógeno, el carbono y otros elementos esenciales de los que de otro modo no dispondríamos; producen oxígeno, gas natural (metano), etcétera, etcétera. Sin el mundo microbiano, la vida, tal como nosotros la experimentamos, sería sencillamente imposible.

La mirada de Margulis se eleva así de lo microscópico a lo global: la Tierra es un auténtico sistema vivo, una amalgama palpitante a escala global de los organismos y el mundo físico "inanimado". Uno puede llamar "Gaia" a este sistema y considerarlo tan vivo como un organismo cualquiera, pero esto no tiene una importancia real. Al leer *¿Qué es la vida?*, lo que se aprecia de manera clara y sencilla es que el sistema global que conecta la vida con el mundo físico ciertamente existe, y que nosotros los humanos, a pesar de las apariencias y las afirmaciones en sentido contrario, seguimos formando parte de él.

Todo esto nos retrotrae al valor último de la conciencia de la propia existencia. *¿Qué es la vida?* nos hace reflexionar sobre la barroca diversidad de la vida y la exuberancia de la evolución, y nos obliga a darnos cuenta de que el sistema global, toda esa vida y, en última instancia, *nuestra* propia existencia, corren un serio peligro, causado por nuestro propio egoísmo. *¿Qué es la vida?* combina la descripción de realidades del mundo vivo que superan la ficción, con un impulso intelectual capaz de revelar filosofías nuevas e insospechadas. Nos proporciona la comprensión que tan desesperadamente necesitamos para hacer frente a la creciente amenaza que representamos los humanos para el ecosistema global a medida que nos acercamos al fin del milenio. Conocimiento es poder, y *¿Qué es la vida?* nos proporciona una comprensión del mundo vivo indispensable tanto para la conservación de los ecosistemas mundiales como para nuestra propia supervivencia.

**NILES ELDREDGE**

## La cibernética

**Carlos Chimal**
conaculta, 1999

El conocimiento científico no sólo trata de explicar lo complejo en términos sencillos ni es un mero estímulo de la invención tecnológica. En realidad, se ha convertido en la analogía más profunda de la cultura de nuestro tiempo. Genera parte de las jergas y símbolos, y ha penetrado firmemente en los postulados metafísicos, filosóficos y artísticos más elementales. Parte de este conocimiento, crucial para el tercer milenio, es la cibernética.

Carlos Chimal estudió química y literatura en la UNAM y fue becario de literatura en el INBA en 1974-1975, bajo la tutoría de Augusto Monterroso. Interesado en la difusión y la comprensión de la ciencia, durante cinco años publicó artículos sobre la relación entre ciencia y literatura en la revista *Vuelta*. Es autor de *Mario Molina y la carrera por el ozono* (CITESA, 1998) y de *Luz interior. Conversaciones sobre ciencia y literatura* (Tusquets, 1999).

## Mi concepción del mundo

**Erwin Schrödinger**
Tusquets Editores, 1998

Tal y como dice el propio Erwin Schrödinger en el prefacio, su dedicación a la filosofía ha sido permanente y profesional. Pero sus intereses han derivado hacia la reflexión sobre temas generales y éstos han constituido la base de su visión científica. Su oposición obstinada y en ocasiones violenta, a la mecánica cuántica, es un ejemplo de su concepción filosófica, según la cual el mundo físico es plenamente comprensible en cuanto que es consecuencia obvia del carácter "mental" de la realidad. Si el mundo físico es expresión de una mente universal, su estructura debe ser accesible a la mente, y no inaccesible, como pretende la mecánica cuántica. La primera y segunda parte de *Mi concepción del mundo* fueron escritas con un intervalo de treinta y cinco años, y su coherencia, a pesar de los años que separan estos textos, demuestra la profundidad y el arraigo de sus ideas filosóficas. Completa este volumen *Mi vida*, texto autobiográfico que terminó dos meses antes de morir y que más que un perfil de su historia, recoge los hechos más determinantes de su biografía.

## Caos, fractales y cosas raras

**Eliezer Braun**
Fondo de Cultura Económica, 1996

Durante el último cuarto de siglo se ha venido generando una revolución en el mundo de las ideas científicas: el estudio de los fractales y el caos.

El propósito del presente libro es ofrecer una explicación somera, accesible a todos, de los antecedentes de dicha revolución científica. Se tratará en un principio el concepto de fractal sólo para descubrir que la mayoría de las figuras que existen a nuestro alrededor son fractales y que la excepción son las figuras geométricas. Después, tras hacer una revisión de la mecánica clásica de Newton y de las ecuaciones que la describen, pasaremos a estudiar el concepto del caos. El comportamiento de un cuerpo puede ser estable o caótico dependiendo de sus parámetros iniciales. Creencia común de los científicos es que una teoría que describe los fenómenos de la naturaleza pueda predecir el desarrollo futuro del sistema que trata, cosa que, veremos, no es tan exacta como se pensaba y esto tiene numerosas aplicaciones en la astronomía y aun en la medicina, el estudiar el comportamiento dinámico de un órgano tan importante como el corazón.

La relación estrecha entre los fractales y el caos puede ser empleada, asimismo, para tratar de explicar el movimiento de la Bolsa de Valores, la elaboración de mapas, la estabilidad del Sistema Solar y una gama de fenómenos muy vasta.

## El as en la manga

**Rita Levi Montalcini**
Editorial Crítica, 1999

El cerebro, es el "as" en la manga que tenemos todas las personas y que debemos aprender a jugar con acierto en la vejez, la fase más temida del recorrido vital. "En el juego de la vida la carta más alta es la capacidad de valerse, en todas las fases vitales pero especialmente en la senil, de las actividades mentales y psíquicas propias." Levi Montalcini desdeña las reflexiones consolatorias o las lamentaciones lúgubres sobre la vejez, para explicarnos que el cerebro puede seguir funcionando perfectamente incluso a una edad avanzada, a diferencia de lo que ocurre con otras funciones fisiológicas, ya que si bien es cierto que pierde algunas de sus capacidades, las sustituye con otras que compensan e incluso superan a las perdidas. En efecto, la neurobiología moderna demuestra que merced a la "plasticidad neuronal" el cerebro suple la pérdida de células que acontece con la edad con la propiedad que tienen las restantes de compensar esa disminución numérica con un aumento de las ramificaciones y la utilización de circuitos neuronales alternativos. A la clara exposición científica del libro, la autora añade por vía de ejemplo, las biografías de cinco personajes ilustres que tuvieron una gran actividad en sus años postreros: Galileo Galilei, Miguel Angel, Ben Gurion, Bertrand Russell y Pablo Picasso.

## 1898: Sanidad y ciencia en España y Latinoamérica durante el cambio de siglo

**Francisco Javier Puerto Sarmiento**
**María Esther Alegre Pérez**
**Mar Rey Bueno (coordinadores)**
Ediciones Doce Calles, 1999

El año 1998 invitó al análisis, desde los más variados aspectos, del final, en España, del siglo XIX. Con este propósito se realizó en la Universidad Complutense de Madrid el seminario que le da nombre a este libro.

Aunque la cronología no adquiere la misma relevancia desde visiones discordantes, hay circunstancias cuya magnitud supone se hable, en lo sucesivo, de un antes y un después, dando valor a esa fecha que resulta común a cualquier faceta de la historia. La pérdida, por parte de la nación española, a lo largo del siglo XIX, de sus territorios coloniales tiene tanta fuerza en el devenir histórico de las partes implicadas, que justifica, en sí misma, una puesta en común de lo que fue la sanidad, la investigación científica y la farmacia en España y en sus antiguos territorios coloniales.

El carácter internacional de este seminario permitió contar con la valiosa aportación de ilustres historiadores latinoamericanos que con objetividad y profundidad ofrecieron sus puntos de vista sobre los temas tratados. Esta publicación recoge, en toda su extensión, las ponencias, permitiendo un conocimiento más amplio de estas investigaciones.

## Los diez mayores descubrimientos de la medicina

**Meyer Friedman**
**Gerald W. Friedland**
Paidós, 1999

En 1675, Antony van Leewenhoek, un comerciante de Delft sin instrucción alguna, puso una gota de lluvia en su microscopio y detectó miles de diminutos seres vivos agitándose en ella. Luego procedió a examinar la actividad microscópica de su saliva y sus heces, y así, sin proponérselo, inventó la disciplina de la bacteriología. Unos doscientos años después, Wilhelm Conrad Roentgen, un profesor de física teórica de la Universidad de Wurzburgo, llevó a su esposa a su laboratorio, le pidió que pusiera la mano sobre una placa fotográfica, accionó una corriente eléctrica y mostró a aquella aterrorizada mujer los huesos de su mano. Y así se descubrieron los rayos X.

Este libro apasionante se dedica a describir éstos y otros ocho descubrimientos médicos que cambiaron el mundo. De este modo, no sólo resucita ante nuestros ojos a los científicos que trabajaron arduamente para conseguir lo que querían, sino que también recrea la emoción, las frustraciones y las envidias que los rodearon en sus respectivas épocas.