

# La física y la vida

Michel Picquart

PUEDE PARECER EXTRAÑO a algunos que haya relación entre física y vida, pero como lo dijo el doctor François Jacob, uno de los fundadores de la biología molecular, en una conferencia de la Academia de Ciencias en París:<sup>1</sup>

La biología se volvió molecular el día en que los físicos empezaron a interesarse por el mundo viviente. Se ha desarrollado la relación entre física y vida según dos líneas: 1) el estudio de las estructuras, principalmente por cristalografía de rayos x, 2) el estudio de las interacciones, en particular por el análisis de las propiedades de las células.

En este artículo se trata de hacer un breve repaso histórico de esa relación.

Desde la antigüedad hasta la mitad del siglo XIX muchos científicos y filósofos han tratado de entender la naturaleza intrínseca de la vida. Muchas veces han dado definiciones que se deben más a la ideología que a la observación. En el siglo XVII, Descartes<sup>2</sup> y Leibniz<sup>3</sup> dieron explicaciones mecánicas simplistas para interpretar el funcionamiento de los animales bajo la única influencia de las fuerzas físicas (animales-máquinas). El hombre, además de la máquina, poseía, según Descartes, un alma en medio del cráneo. La glándula pineal, que llamamos hoy epítesis, jugaba un papel mayor en el dispositivo salido de la imaginación del filósofo y fundado sobre el dualismo “alma-cuerpo”.

Un poco más tarde, sobre el fondo de la metafísica, se propaga con Ernst Stahl<sup>4</sup> en Alemania, por ejemplo, la idea de “fuerza vital”. Se pueden colocar en esta escuela de pensamiento las interpretaciones de médicos y de naturalistas del principio del siglo XIX que inscribían la vida en una

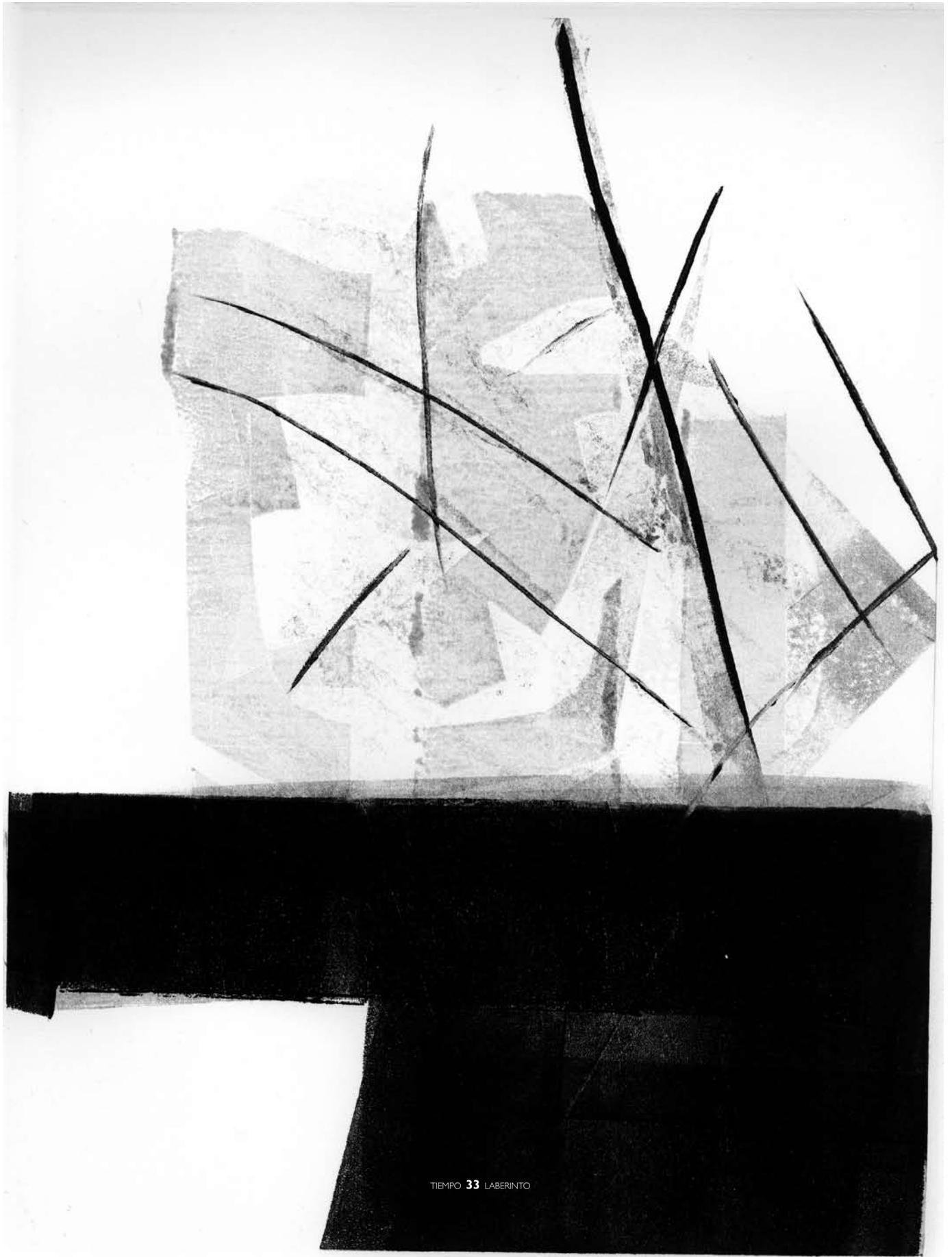
especie de combate del ser contra los elementos del medio ambiente. Xavier Bichat,<sup>5</sup> que distingue la vida “animal” de la vida “orgánica”, escribió en 1800: “La vida es el conjunto de las funciones que resisten a la muerte”. En 1801, Lamarck propuso separar las producciones de la naturaleza más o menos confundidas en: 1) cuerpos organizados, vivientes y 2) cuerpos brutos y sin vida. En su celebre *Filosofía zoológica* (1809) fue más preciso: “La vida, en las partes de un cuerpo que la posee, es un orden y un estado de cosas en donde se permiten los movimientos orgánicos, y estos movimientos que constituyen la vida activa resultan de la acción de una causa estimulante que los excita”.<sup>6</sup> En 1815 dio la definición siguiente: “Todo lo que es generalmente común a los vegetales y a los animales, como todas las facultades propias a cada uno de estos seres sin excepción, debe constituir el único y amplio objeto de una ciencia particular que todavía no tiene fundamentos, que no tiene nombre y a la cual llamaría biología”.

Tales preocupaciones fueron abandonadas cuando Claude Bernard (1877), padre de la fisiología moderna, preocupado en sacar esta ciencia de las doctrinas *vitalistas* afirmó que “hay que renunciar a la ilusión de una definición de la vida, es decir a la búsqueda de su esencia” y añadió que “la vida es ni más ni menos oscura que todas las otras causas primeras”.<sup>7</sup> De hecho los científicos no persiguieron más esta quimera, como lo anotó François Jacob en su libro *La lógica del viviente* (1970),<sup>8</sup> en donde señala que “ya no se interroga más la vida hoy en los laboratorios”, pero, evidentemente, uno se puede preocupar de los seres vivos y eso es una inmensa ambición.

Un ser viviente es ante todo una organización estructural en donde se pueden distinguir varios niveles (aparatos,

órganos, tejidos, células) y una organización fisiológica en estrecha interdependencia con la anterior que le permite cumplir cierto número de funciones, las principales son las de nutrición, de reproducción y de relación. La bioquímica permite entender que todas estas estructuras son edificios moleculares en los cuales el análisis permite poner en evidencia moléculas de pequeño tamaño o átomos o iones y

moléculas mucho más grandes llamadas macromoléculas. Para tener una idea del tamaño de estos constituyentes y de la complejidad de un ser viviente tomaremos como ejemplo el colibacilo, bacteria larga de un micrómetro (una milésima de milímetro) que vive tanto en el tubo digestivo humano como en las cajas de cultivo de los laboratorios; tiene por lo menos 5000 compuestos orgánicos diferentes.



El análisis químico de un ser viviente muestra que sus constituyentes (moléculas) se construyen con ciertos elementos (átomos) que se encuentran en el mundo mineral. De la misma manera la mayoría de los fenómenos vitales pueden ser descritos en términos físico-químicos. La gran diferencia es que cada uno de los elementos de un organismo responde a una lógica interna que permite explicar su papel mientras que la “función” de la materia inanimada no tiene nada de evidente. Salvador Luria (1973) explica que “la vida tiene una característica que la diferencia de todos los otros fenómenos naturales: tiene un programa”,<sup>9</sup> además transmite el programa a las generaciones siguientes y de esta manera asegura la supervivencia de la especie.

#### EL ORDEN EN LA MATERIA VIVIENTE

El conjunto de los intercambios entre el ser viviente y su medio se llama metabolismo. Un ser viviente, gracias a su organización, posee la capacidad de utilizar las sustancias, es decir, la energía que le ofrece su medio, de manera ordenada y constructiva para crecer, para mantener y hacer funcionar las estructuras moleculares de las cuales está constituido. La unidad de base de todos los seres vivos es la célula. Limitada por una membrana y capaz de reproducirse, es el lugar donde opera un metabolismo cuyas reacciones bioquímicas son por una parte degradaciones de sustancias y por otra parte síntesis, en particular de moléculas gigantes como las proteínas o los ácidos nucleicos.

Las reacciones de degradación suministran los materiales y la energía necesarios a las reacciones de síntesis, las cuales permiten edificar o restaurar los componentes de la célula como las enzimas (que atienden a la realización de cada una de las etapas del metabolismo), las membranas y el material genético.

Cuando las reacciones de síntesis acaban de duplicar las moléculas que constituyen el patrimonio genético, la célula se divide. Cada célula hija contiene las mismas moléculas.

Generación tras generación, los individuos se suceden, transmiten el mensaje que prescriben las estructuras y por consiguiente las funciones. Pero el término *reproducción* es inadecuado. Evoca una repetición de lo idéntico, mientras que gracias al mecanismo sutil de la sexualidad la formación de un nuevo individuo se acompaña siempre de una redistribución de los elementos de programa susceptibles de expresarse bajo formas de caracteres (los genes). Cada generación innova y la variedad de los individuos producidos es infinita. Con la excepción de los verdaderos gemelos (univitelinos), todos los seres vivos que resultan de la reproducción sexual

son diferentes unos de los otros. Se calcula que el número teórico de individuos diferentes posibles para una especie de complejidad media sobrepasa el de los átomos del sistema solar. Evidentemente, hay mecanismos de salvaguardia que evitan desviaciones demasiado amplias, permitiendo la conservación de los rasgos fundamentales de la especie a pesar de una extrema diversidad.

El programa de cada ser viviente está inscrito en cada una de las células, bajo la forma de algunos fragmentos de una larga molécula portadora de información: el ADN (ácido desoxirribonucleico). El ADN de una célula humana pesa  $1.6 \times 10^{-12}$  g y desenrollado mediría 1.80 m. Este programa se expresa poco a poco en el transcurso del desarrollo (ontogénesis) gracias a la multiplicación y a la diferenciación progresiva de las células provenientes del huevo inicial. Esta diferenciación se adquiere gracias a la expresión en cada tipo de célula de una parte del programa genético del individuo que le confiere sus características morfológicas y funcionales. Pero el contexto relativo a los tejidos en el cual se efectúa esta diferenciación tiene también su papel.

Se puede decir que la célula se caracteriza por estructuras organizadas (membranas, organitos, etc.) y por un conjunto ordenado de una multitud de reacciones químicas. Desde el punto de vista físico, la materia viviente testifica un orden que se mantiene (mientras perdura la célula) y se reproduce (dando dos células idénticas).

Estas dos características de la vida fueron subrayadas como las más fundamentales por el físico Erwin Schrödinger, uno de los teóricos más importantes de la mecánica cuántica, en un pequeño libro: *¿Qué es la vida?*,<sup>10</sup> publicado en 1945 y que tuvo una repercusión considerable en los científicos fundadores de la biología molecular, investigadores que procedían de horizontes muy diversos: biología, física, medicina, microbiología, química, cristalografía, etcétera.

#### LOS FENÓMENOS DETERMINISTAS

En su libro, Schrödinger recuerda que normalmente el comportamiento físico de los átomos y de las moléculas es desordenado y que el orden sólo puede aparecer cuando estos elementos constituyen conjuntos de miles de millones de unidades y sólo las leyes de la estadística permiten hacer surgir fenómenos deterministas: en  $1 \text{ cm}^3$  hay más o menos  $10^{22}$  átomos.

Schrödinger toma como ejemplo el fenómeno de difusión: si se deposita con una pipeta una solución concentrada de permanganato de potasio en una esquina de un recipiente

lleno de agua, las moléculas se difunden poco a poco en todo el recipiente. Una ley determinista impone a las moléculas ir del medio más concentrado al medio menos concentrado cuando cada molécula se mueve al azar. Entonces Schrödinger pregunta: si el orden funcional y la organización de las estructuras en las células testifican de un determinismo en la materia viviente, ¿este determinismo se obtiene por medio de las leyes estadísticas establecidas por la materia inanimada? La respuesta es *no*.

Schrödinger menciona que los biólogos habían llegado a la concepción de que el patrimonio genético (los cromosomas compuestos de genes) era el centro director que imponía el orden funcional y la organización de las estructuras. Diferentes tipos de observaciones permitieron deducir que el gen, unidad más pequeña capaz de ser el origen de un determinismo, se compone sólo de un millón de átomos y que una mutación depende solamente de una reunión de mil átomos, como lo habían establecido en 1935 el biofísico alemán Max Delbrück y el genético ruso N. W. Timofeeff-Ressovsky al irradiar moscas drosófilas con rayos x.<sup>11</sup>

Los fenómenos deterministas en la materia inanimada dependen de una cantidad de átomos o moléculas mucho más grande que en la materia viviente. Schrödinger deduce de esto que el gen posee la estructura física de un sólido y que no es de la naturaleza de los coloides, sustancias viscosas características del ser viviente como el citoplasma de las células.

Pero este gen puede quedarse sin cambiar durante siglos y transmitirse de generación a generación. Para Schrödinger esto indicaba que los genes eran cristales aperiódicos (motivos arquitectónicos que no se repiten de manera monótona) y que las variaciones en el arreglo de los motivos permitían probablemente registrar la información hereditaria. Lo que Watson y Crick mostraron en 1953.<sup>12</sup>

#### LA PERMANENCIA DEL ORDEN EN LA MATERIA VIVIENTE

En su libro, Schrödinger anotó otra cosa sobre las características fundamentales de la vida: la permanencia del orden como se puede observar en la célula representa un enigma para las leyes de la física. Normalmente, en razón del segundo principio de la termodinámica, los grandes conjuntos de moléculas como los que existen en las células no pueden durar; se desagregan bajo el efecto de la agitación térmica. Los físicos decimos que la entropía o el desorden molecular de un conjunto de moléculas tiene que aumentar. Es de hecho lo que pasa cuando muere una célula.

Schrödinger hizo de nuevo una hipótesis genial: la permanencia del orden tiene que ver con el cristal aperiódico de los genes porque éstos son responsables de los fenómenos deterministas en la célula. Una vez más tenía razón: las investigaciones en biología molecular entre 1953 y 1965 pusieron en evidencia lo que Crick llamó “el dogma de la biología molecular”.

La información genética registrada en forma codificada en los genes dirige la síntesis de las enzimas por medio de un “código genético” que hace corresponder los nucleótidos a la secuencia de motivos elementales de las enzimas y los aminoácidos. Ahora bien, las enzimas son las clavijas maestras del metabolismo celular. Se sirven de los materiales y de la energía del entorno para restaurar y renovar constantemente las moléculas y las estructuras celulares en vía de ser desnaturalizadas por la agitación térmica o las agresiones químicas o físicas. El metabolismo tiene entonces como función la lucha contra la entropía percibida por Schrödinger. Además, la activación de los genes coordina en permanencia el funcionamiento de estas enzimas como lo mostraron los trabajos de François Jacob y Jacques Monod en la década de 1960.<sup>13</sup>

#### LA VIDA RESULTANTE DEL AZAR Y LA NECESIDAD

Los seres vivos presentan características singulares con respecto a la materia inanimada. Sin embargo, se pueden explicar por algunos determinismos físicos sin necesidad de una misteriosa *fuera vital*. Uno se puede preguntar si estos determinismos implican que los fenómenos de la vida son regulados como los movimientos de un reloj, según la imagen propuesta por Schrödinger. Las primeras células resultaron de una evolución en un mundo desaparecido de moléculas prebióticas en donde algunas eran capaces de autorrepararse y de autorreplicarse. Las que se asociaron por azar (probablemente ácidos nucleicos de tipo ARN) con proteínas con función enzimática se hicieron capaces de usar las moléculas y la energía del entorno en su lucha contra la entropía. De esta manera se perpetuaron mejor. La evolución durante millones de años permitió la formación de seres vivientes más y más diversificados por el juego de las mutaciones del ADN debidas al azar y a la selección que favoreció a las que tenían las consecuencias más adecuadas a la supervivencia de los seres individuales. Como lo dijo Monod en un libro publicado en 1970,<sup>14</sup> los seres vivos no resultan de un determinismo riguroso sino que son los productos “del azar y la necesidad”. •

## Notas

<sup>1</sup>Conferencia del 29 de marzo de 2005, Instituto de Francia, París ([www.academie-sciences.fr](http://www.academie-sciences.fr)). François Jacob fue Premio Nobel de Medicina y Fisiología con sus colegas André Lwoff y Jacques Monod (1965). Una traducción de su último libro *El ratón, la mosca y el hombre* (1997) fue publicada en 2005 por Plaza y Valdez y la UAM Iztapalapa.

<sup>2</sup>*Treatise of Man*, Cambridge, Harvard University Press, 1972. El científico francés René Descartes (1596-1650) fue conocido principalmente por sus trabajos en óptica y sus textos filosóficos.

<sup>3</sup>Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), *New Essays Concerning Human Understanding*, Cambridge University Press, 1996.

<sup>4</sup>Georg Ernst Stahl (1660-1734), médico y químico alemán conocido como fundador del vitalismo.

<sup>5</sup>François Xavier Bichat (1771-1802), *Recherches physiologiques sur la vie et la mort*, París, Béchet Jeune et Gabon, 1822, texto original en [www.bium.univ-paris5.fr](http://www.bium.univ-paris5.fr).

<sup>6</sup>*Philosophie Zoologique* (1809), traducción al inglés de Hugh Elliot, *Zoological Philosophy: An Exposition with Regard to the Natural History of Animals*, introducción de David L. Hull y Richard W. Burkhardt Jr., Chicago, 1984. En la página [www.lamarck.net](http://www.lamarck.net) se puede encontrar la versión original en francés.

<sup>7</sup>Claude Bernard (1813-1878), *Les Phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux*, Albert Dastre, París, 1878-1879, vol. 1 (publicación póstuma), reeditado por G. Canguilhem, París, 1966.

<sup>8</sup>François Jacob, *La Logique du vivant, une histoire de l'hérédité*, París, Gallimard, 1970; traducción al español: *La lógica de lo viviente*, Barcelona, Tusquets, 1999.

<sup>9</sup>Salvador E. Luria (1912-1991), Max Delbrück (1906-1981) y Alfred D. Hershey (1908-1997) obtuvieron el Premio Nobel de Medicina y Fisiología en 1969 por sus trabajos sobre los mecanismos de replicación y de estructura genética de los virus.

<sup>10</sup>Erwin Schrödinger, *What Is Life?: The Physical Aspects of the Living Cell with Mind and Matter and Autobiographical Sketches*, Cambridge University Press, 1992; traducción al español: *¿Qué es la vida?*, Spanish Language Book Services, 2002.

<sup>11</sup>N. W. Timofeef-Ressovsky, K. G. Zimmer, M. Delbrück, "Über die Natur

der Genmutation und der Genstruktur: Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen", en *Biologie*, nueva serie, 1: 189-245, 1935.

<sup>12</sup>J. D. Watson y F. H. C. Crick, "A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid", en *Nature*, 171: 737-738, 1953.

<sup>13</sup>Muchos de estos trabajos pueden ser consultados en la página del Instituto Jacques Monod, Universidad de París 7.

<sup>14</sup>Jacques Monod, *Le Hasard et la nécessité: essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, París, Seuil, 1970; traducción al español: *El azar y la necesidad*, Barcelona, Tusquets, 1989.

MICHEL PICQUART es profesor-investigador del Departamento de Física de la UAM Iztapalapa desde 1998. Hizo sus estudios en Francia y obtuvo el doctorado en física en la Universidad René Descartes-París V. Es especialista en física del estado sólido y biofísica y cuenta con más de cuarenta publicaciones internacionales de investigación. Fue profesor en la Universidad René Descartes-París V durante más de veinticinco años.

