

# Qué es la Biofísica

Marcelino Cereijido

Marcelino Cereijido (38) *Miembro de la Carrera del Investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Trabaja actualmente en el Departamento de Biofísica del Centro de Investigaciones Médicas Albert Einstein (CIMAIE). Graduado en Medicina (1957). Dr. en Medicina (1961). Obtuvo un premio a la mejor Tesis Doctoral (1962). Trabajó bajo la dirección de Braun Menéndez en Hipertensión Arterial Nefrótica. Trabajó en Harvard bajo la dirección del Prof. A. K. Solomon y P.F. Curran en el Laboratorio de Biofísica (1961 a 1964) primero como becario del CONICET y luego como Post-doctoral International Research Fellow del Public Health Service de Estados Unidos. Profesor Adjunto de Fisicoquímica en la Universidad de Buenos Aires (1964 - 1966). Profesor de Biofísica en la Universidad de La Plata (desde 1968).*

Este artículo debería comenzar con la definición de *biofísica*. Formalmente podríamos salir del paso diciendo por ejemplo: "es la disciplina que trata de explicar los procesos fundamentales de la vida en base a leyes físicas". Pero eso no nos llevaría muy lejos. Mas honesto sería hacer como hizo Aaron Katchalsky, ex presidente de la Sociedad Internacional de Biofísica (IUPAB): En su discurso inaugural del III Congreso Internacional de Biofísica (Cambridge, Mass., 1968) confesó que con la biofísica le pasaba como con su mujer: la conocía profundamente, podía contar su historia y diferenciarla a simple vista de todas las demás mujeres... pero no aplicarle una definición, Pero *contar* qué es la biofísica no es en realidad un problema. Después de todo, cuando a una disciplina científica se le puede aplicar una definición rigurosa, sus límites están claramente marcados y sus conexiones son perfectamente establecidas y es porque ya ha hecho sus contribuciones principales y está lista para una academia. Aprovechemos pues mientras no exista una Academia de Biofísica y contemos qué es y qué no es la biofísica, demos ejemplos de qué hacen los biofísicos, quiénes son (o como llegaron a serlo), dónde trabajan, qué problemas tienen y para qué sirven.

## Cómo empezó la cosa

Hasta la segunda o tercera década de este siglo los sistemas biológicos (un virus, una célula, una palmera, un sistema nervioso, un tumor, un sacristán, los niños de una escuela, un bosque, todos los bosques, el equipo de tercera de Atlanta, los vegetales, la humanidad, toda la biosfera) parecían constituir una violación tan flagrante de la Segunda Ley de la Termodinámica que el propio Lord Kelvin limitó su enunciado a "entidades materiales inanimadas". En realidad, puesto que ningún sistema vivo es un sistema cerrado no se le puede aplicar así no más la Segunda Ley. Sin embargo esta escapatoria legalista no nos deja muy conformes en vista de que en un mundo que tiende a desorganizarse, los sistemas biológicos siguen el curso opuesto: un espermatozoide más un óvulo, se convierten con el tiempo en un elefante de varias toneladas. El físico Erwin Schrödinger, que ya había maravillado al mundo con su ecuación de onda, tomó este problema en serio y publicó un libro (*¿Qué es la vida?*<sup>1</sup>) que hoy muchos consideran como *uno* de los comienzos de la biofísica.

En resumidas cuentas lo que el libro dice es que los sistemas biológicos siempre se las arreglan para aumentar su organización a expensas de la desorganización del medio, de modo que si uno hace el balance total (lo que se organiza el sistema biológico más lo que se desorganiza el medio) siempre resulta negativo (la desorganización es mayor). El explicar cómo hacen los sistemas biológicos para realizar tales proezas está muy lejos de ser claro. Pero no es eso lo que nos interesa por el momento, sino que al tratar de contestar en términos físicos la pregunta "¿qué es la vida?" se puso a andar —o por lo menos se dio un gran impulso— una disciplina nueva: la biofísica.

Pero la historia no es tan sencilla. La biofísica, como los ríos, se originó por la confluencia de varias causas menores. El siglo pasado, Emile Du Bois Reymond encontró que la piel de rana tiene a su través una diferencia de potencial eléctrico de casi 0,1 volt. Es decir la parte de adentro es unos 100 mV positiva con respecto a la parte de afuera. Si se diseça la piel de la rana y se la monta como un diafragma entre dos cámaras que contienen idéntica solución salina (ver figura 1) se observa que la cara interna de la piel es unos 100 mV positiva con respecto a la otra. A principios de este siglo el biólogo Galeotti <sup>2</sup> postuló que eso se debía a que la piel de rana es más permeable al ion sodio ( $\text{Na}^+$ ) cuando éste la atraviesa de afuera hacia adentro que cuando lo hace en el sentido inverso.

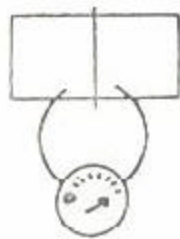


figura 1

“¡Absurdo! — le contestaron — es un claro ejemplo de lo que puede llegar a decir un biólogo cuando no sabe física. Si uno prepara una cámara en forma de aro como la de la figura 2, llena de solución salina, ésta tendrá al principio la misma concentración de sales en todo lugar de la cámara. Pero, si la permeabilidad al  $\text{Na}^+$  hacia adentro (hacia la derecha en el ejemplo de la figura 2) fuera mayor que hacia afuera, se observaría al poco rato un aumento de concentración de  $\text{Na}^+$  del lado derecho (figura 2b). Esto haría difundir al Na a través de la solución que llena la cámara siguiendo el sentido de las agujas del reloj (figura 2c) y se tendría así un móvil perpetuo”. Salirse en pleno siglo XX con otro móvil perpetuo colmaba la paciencia de cualquier físico.

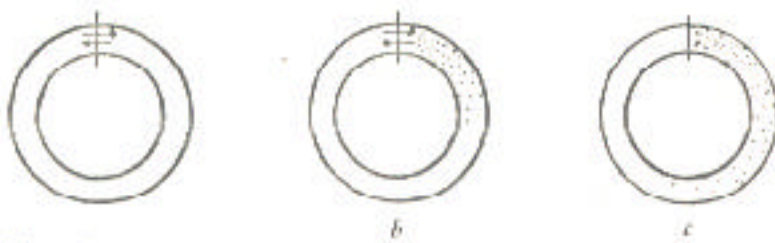


figura 2

Luego los biólogos averiguaron que, en realidad, el móvil no es perpetuo: al cabo de unas horas todo se acaba y la diferencia de potencial eléctrico entre ambos lados de la piel desaparece. Lo que pasa es que la piel utiliza energía metabólica para ayudar al  $\text{Na}^+$  a pasar más fácilmente de afuera hacia adentro que en el sentido inverso.

"¡Pamplinas! —volvieron a responder los físicos— ahora están violando el Principio de Curie <sup>3</sup>: fenómenos de orden tensorial distinto, no son acoplables". Una simple ojeada a los trabajos de Curie y a sus elucubraciones sobre la simetría bastó para dejar fuera de combate a los biólogos más mentados de aquel entonces. En otras palabras eso quería decir que si por ejemplo, en el centro de un tanque lleno de agua se inicia una reacción química, uno no puede esperar que la reacción marche, digamos, hacia el ángulo superior derecho del tanque, sino que se va a propagar en todas las direcciones. Esto, aplicado al caso de la membrana biológica de la figura 2 es más o menos así: la energía metabólica se origina en procesos químicos; los procesos químicos son fenómenos escalares (no se hacen preferentemente en una dirección del espacio); en cambio el movimiento de  $\text{Na}^+$  a través de la membrana es un fenómeno vectorial (preferentemente hacia la derecha). ¿No sería posible, en principio, que el metabolismo de una membrana diera origen a un flujo neto de  $\text{Na}^+$  para un lado (de izquierda a derecha)?

Luego vino el uso de los isótopos radiactivos y se pudo comprobar que si uno pone  $\text{Na}^{24}$  en la cámara derecha (figura 1) y  $\text{Na}^{22}$  en la izquierda, pasa más  $\text{Na}^{22}$  hacia un lado que  $\text{Na}^{24}$  hacia el otro. También vino Onsager <sup>4</sup> y empezó a justificar que en un sistema todos los flujos pueden estar acoplados a (deberse a) todas las fuerzas presentes. Y vino Kedem <sup>5</sup> y justificó que los procesos químicos del metabolismo puede perfectamente originar un flujo de Na neto hacia dentro de la piel. Y vinieron los revisionistas y notaron que, dadas las condiciones anisotrópicas de las membranas biológicas como la piel de rana, las observaciones de Galeotti (1904) eran correctas y no se daban de patadas con el Principio de Curie. A esa altura de las cosas (mil novecientos sesenta y pico) Galeotti ya estaba muerto remuerto, pero una cosa era evidente: que para entender los procesos biológicos había que saber física.

## Qué estudia hoy la biofísica

Hasta ahora nos mantuvimos en un nivel muy general y eso amenaza esterilizar nuestro propósito de contar qué es la biofísica. Con el único fin de ilustrar ordenadamente, dividiremos los problemas de que se ocupa en tres categorías completamente artificiales.

### Fenómenos simples

*Ejemplo 1:* Los sistemas biológicos tienen una enorme selectividad. Dos isómeros ópticos de una misma especie química pueden ser totalmente reconocidos y uno solo ser aceptado en un proceso dado. La glándula tiroides reconoce y acumula yodo, los osteocitos reconocen  $\text{Ca}^{++}$ , una enzima reconoce  $\text{Mg}^{++}$ . El líquido que baña las células tiene generalmente mucho más sodio ( $\text{Na}^+$ ) que potasio ( $\text{K}^+$ ) y un paciente puede morir porque la concentración de  $\text{K}^+$  en su plasma se eleva un poco por encima de su concentración normal. Dentro del agua celular las cosas son al revés: generalmente hay más potasio que sodio (figura 3). Sin embargo la membrana celular deja pasar a ambos. La membrana celular tiene un cierto *Demonio de Maxwell* que hace que el  $\text{K}^+$  se acumule en la célula y que en cambio el  $\text{Na}^+$  sea parcialmente excluido <sup>6</sup>. Esta distribución asimétrica de iones da origen a diferencias de potenciales eléctricos entre ambos lados de la membrana celular.

La membrana de una célula nerviosa puede ser unas 100 veces más permeable al  $\text{K}^+$  que al  $\text{Na}^+$ , de pronto hacerse más permeable al  $\text{Na}^+$  que al  $\text{K}^+$  y nuevamente, en unos pocos milisegundos, volver a su permeabilidad normal: 100 veces más permeable al  $\text{K}^+$  que al  $\text{Na}^+$ . Ese rápido cambio de selectividad produce una variación en el potencial eléctrico de la membrana de la célula nerviosa y tanto el cambio de selectividad como la señal eléctrica originada se propagan a lo largo de la

membrana constituyendo la señal eléctrica fundamental mediante la que se comunican las células nerviosas.



figura 3

La Biología clásica se limitó a describir los fenómenos: la célula necesita  $K^+$  y no  $Na^+$  y por eso los discrimina. La biofísica se pregunta qué quiere decir *necesita* y cómo se *discrimina* en términos físicos. Si bien la selectividad de los sistemas biológicos es mucho más delicada que la de los no biológicos, estos también seleccionan  $Na^+$  del  $K^+$ . Pero es del estudio de estos últimos de donde los biofísicos obtienen la información para entender a los primeros. Es común que los investigadores de la selectividad trabajen indistintamente con células, vidrios, resinas y minerales y que hagan contribuciones útiles en campos biológicos y no biológicos. Se ha aclarado cómo la intensidad del campo eléctrico generado por los sitios de las membranas celulares (o en los vidrios, resinas y minerales) determina que ion va a ser preferido. La información que se está obteniendo no sólo responde la pregunta original sobre cómo discriminan las células, sino que ha dado nacimiento a una industria de vidrios selectivos a distintos iones. Hoy se construyen electrodos de vidrios con los que se puede medir la concentración de  $Na^+$  de una solución con la misma facilidad que con otros electrodos se mide su pH (dicho sea de paso: los electrodos que miden pH no son más que un caso extremo de selectividad por el ion  $H^+$ ).

De la misma manera los bioquímicos saben que una enzima puede por ejemplo ser estimulada por el ion magnesio ( $Mg^{++}$ ) y ser inhibida por el ion calcio ( $Ca^{++}$ ). Los biofísicos tratan de averiguar cómo hace la enzima para distinguir  $Mg^{++}$  de  $Ca^{++}$ , y por qué uno la estimula y el otro la inhibe.

*Ejemplo 2:* Para encontrar el factor que origina tal o cual reacción un bioquímico puede recurrir a la tecnología más avanzada y detectar la presencia de las trazas más ínfimas de alguna sustancia sospechosa. Durante todo el tiempo tiene delante de la nariz varios moles de agua a la que en general no asigna otro papel que el de actuar de escenario de la reacción en estudio. Sin embargo los sistemas biológicos están formados en un 80 por ciento por agua. Donde no hay agua no hay vida. El agua no tiene la misma estructura ni propiedades en el citoplasma que en la superficie de las células, ni se comporta de igual manera cerca de los grupos químicos con cargas eléctricas que cerca de las zonas hidrofóbicas (Berendsen <sup>7</sup>). Las membranas celulares donde se llevan a cabo reacciones fundamentales pueden recubrirse con una costra de agua organizada de muchos angstroms de espesor que influye profundamente en las reacciones que ocurren en ese lugar. La estructura del agua y la de las macromoléculas y organelas celulares están en mutua interdependencia. De pronto pareciera como si se transformara el agua de escenario en uno de los primeros actores. Toda la base conceptual y la tecnología necesaria para estudiar estos problemas son desarrolladas al mismo tiempo que los físicos no-biólogos estudian la estructura del agua pura y la del hielo. En realidad una enorme cantidad de investigadores hacen ambas cosas.

## Fenómenos complejos

*Ejemplo 3:* La mayoría de los conocimientos de los procesos químicos que ocurren en las células han sido obtenidos en homogeneizados o extractos celulares. El primer paso de esos estudios fue pues destruir la estructura celular. El avance que la biología debe a estos procedimientos es enorme. Un paso ulterior en el estudio de la química celular es la síntesis artificial de alguna de las sustancias claves de la compleja maquinaria metabólica.

Imaginemos que visitantes de otros planetas desearan saber qué son y cómo funcionan nuestros aparatos de radio. Supongamos además que, en el estudio, aplicaran el mismo enfoque con el que nosotros estudiamos la bioquímica celular. "Homogeinizarán" las radios, aplicarán métodos de separación y, cuando la "recuperación" sea suficientemente buena averiguarán la estructura y propiedades de cada pieza. Podrán conocer las posibilidades y conducta de cada una de ellas en las distintas circunstancias. Vendrá luego una etapa en la que "sintetizarán" un condensador o un triodo. Pero es evidente que, hasta que no pasen a otro tipo de estudios, en los que tengan en cuenta las leyes que rigen las conexiones entre las partes, que sepan de circuitos, e integren la radio a un sistema radioemisor, tendrán una idea incompleta de lo que es realmente una radio. La información obtenida en lo que va de este siglo sobre la química de los procesos biológicos es lo suficientemente amplia como para armar ahora el rompecabezas y estudiar cómo se llevan a cabo y cómo se regulan en el ser vivo. Por ejemplo, el conocimiento de qué son, qué hacen y dónde están los citocromos ha permitido pasar a tratar de contestar otras preguntas: ¿Cómo se ensambla todo ese mecanismo? ¿Por qué el proceso de síntesis de ATP origina diferencias de potencial eléctrico entre el interior y exterior de la mitocondria? ¿Por qué una pequeña variación de la distancia intermolecular cambia totalmente las características del proceso? ¿Cómo juega la asimetría del sistema? ¿De qué manera está asociada la producción de ATP a la energía almacenada en las distintas conformaciones que adoptan las estructuras mitocondriales? <sup>8</sup>. Y así, en este y otros campos, encuentran su lugar los cristalógrafos de membranas, los especialistas en estado sólido, etc.

*Ejemplo 4:* Uno de los problemas que fascina por igual a los científicos, filósofos y legos es el del origen de la vida. Los biofísicos en general rechazan la tesis del "accidente histórico" (un meteorito de otro planeta que contaminó la Tierra; una colisión molecular fortuita en la sopa prebiológica que de repente dio origen a un organismo, etc.). Un enfoque más "biofísico" es por ejemplo el siguiente<sup>9</sup>: La biósfera es un sistema cerrado al flujo de materia y que —termodinámicamente hablando— no está en equilibrio. Para que mantenga su desequilibrio tiene que estar intercalada entre una fuente (el sol) y un sumidero (el espacio) de energía. Se puede demostrar que el flujo estacionario de energía a través de cualquier sistema lleva a, por lo menos, un ciclo material en el sistema. En el caso de la biósfera sin duda el ciclo originado por el flujo de energía que nos resulta más familiar es el del agua: mares → evaporación → nubes → lluvias y nevadas → ríos (usinas) → mares. La palabra "usinas" ha sido intercalada para sugerir que ese ciclo, a su vez, se puede acoplar a otros a través de la producción de electricidad. Un ciclo mas importante para nuestro caso es la constante formación y degradación de moléculas de distinto grado de complejidad. Un sistema químico complejo, que pueda formar un gran número de uniones estables (covalentes, iónicas, etc.), puede almacenar una gran cantidad de energía si los compuestos tienen una vida media larga (el tiempo que transcurre entre su formación y su descomposición). Las características de la forma de energía que viene de la fuente (la luz solar), la temperatura local y el tipo de elementos disponibles condiciona el tipo y distribución porcentual de moléculas que se forman. La vida media de cada molécula, su estructura atómica y la variedad de especies químicas formadas da origen a una multitud de transformaciones cíclicas. El ciclaje, a su vez, da origen a estructuras.<sup>10</sup> La complejidad de los ciclos y las estructuras tiende a aumentar hasta llegar a un máximo. Es decir, el sistema progresa hacia un estado más organizado en el que su diferencia con el estado de equilibrio (termodinámico) con el medio es máxima. El análogo de la figura 4 puede ayudar a comprender lo que queremos

decir. Se trata de dos cilindros concéntricos. El de afuera tiene un agujero cerca de su borde inferior. El de adentro tiene agujeros distribuidos verticalmente. Estos agujeros son muy pequeños en la parte inferior del cilindro pero se agrandan progresivamente a medida que se asciende. Todo está contenido dentro de una bandeja chata que se comporta como un reservorio. Si nosotros (representando al sol) agregamos agua en forma continua al cilindro central (energía química) ésta se escapará por los agujeros laterales hacia el cilindro externo (energía térmica). De ahí pasará por el agujero de la base hacia la bandeja (energía térmica del sumidero: el espacio extraterrestre). La diferencia entre los niveles del agua entre el cilindro interno y el externo ( $L$ ) es una medida del orden. Si inyectamos agua continua pero lentamente el nivel del cilindro de adentro va a ser muy alto con respecto al nivel del de afuera (porque el área de los agujeros por donde pierde el cilindro interno es, hasta esa altura, menor que la del cilindro externo).

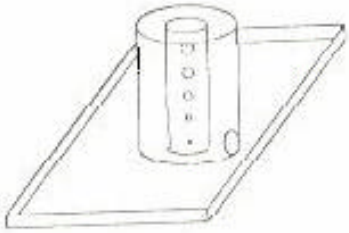


figura 4

A medida que el flujo de agua que agregamos es mayor, el nivel del agua en el cilindro interno es más alto, la pérdida se hace por más y mayores agujeros, y  $L$  tiende a hacerse nula. Los agujeros del cilindro interno son cada vez más grandes para representar el hecho de que a medida que la energía potencial aumenta, los estados son menos estables. Nótese que, tanto si interrumpimos el flujo, como si lo hacemos muy rápido  $L$  tiende a hacerse cero. Este análogo ilustra no sólo que hay un flujo de agua que da un  $L$  máximo sino, además, que para cada flujo de agua hay un  $L$  máximo. Nótese que si de pronto alguien, aparte del flujo estable que agregamos nosotros, agregara o quitara una taza de agua al cilindro central, el nivel volvería a bajar o a subir hasta ajustarse nuevamente al valor que tenía antes de la perturbación, o sea que el nivel se autorregula. Volviendo a nuestro problema biológico: la biósfera parece ser un sistema que maximiza  $L$ . En un sistema con un flujo de energía estacionario la aparición de vida y el aumento de la complejidad lejos de parecer un accidente es así inevitable. Las ideas de "creación" y de "progreso" cobrarían un sentido distinto. Pero los teoremas, mediciones y cálculos que aún quedan por resolver, hacer y ajustar van a dar mucho que hacer a los biofísicos. Este es un relato más o menos redondeado cuyo único propósito es ilustrar un típico problema biofísico. Este es además un campo donde un biólogo que haya tomado un curso básico de termodinámica o un termodinamista cuyos conceptos biológicos no vayan más allá del número de patas de la cucaracha, no se pueden manejar cómodamente.

### Fenómenos muy complejos

*Ejemplo 5:* Durante los últimos cincuenta años la física y las matemáticas han delineado las leyes que gobiernan a los autómatas <sup>11</sup> y han diseñado máquinas que toman decisiones, corrigen su conducta,<sup>12</sup> tienen propósitos.<sup>13</sup> La biología fue aprendiendo los principios que rigen la autoorganización <sup>14</sup> y también la recepción, codificación y transferencia de mensajes en los sistemas biológicos.<sup>15</sup> Esto ha dado como resultado la aplicación de la Teoría de la Información y el Análisis de Sistemas a la comprensión del sistema nervioso. En vena de pintar un lindo cuadro de la biología, podríamos mencionar que grandes maestros de la Cibernética han trabajado (al menos en parte) con sistemas biológicos (Wiener, Ashby, Gray Walter). La experiencia recogida con sistemas no-biológicos ha ayudado a encontrar los mecanismos subyacentes de una amplia gama de

actividades biológicas que van desde la transferencia de mensajes entre abejas hasta la lesión que padece un enfermo de Parkinson y desde como hace el ojo para transmitirle eléctricamente al cerebro la imagen de una línea recta hasta el mecanismo de control de la circulación sanguínea. Los investigadores que trabajan en estos campos tienen sólidos conocimientos de neurofisiología, circuitos, Teoría de Información, etc.

*Ejemplo 6:* Uno de los problemas fundamentales es entender cómo, en sistemas espacialmente homogéneos y que están en estado estacionario, aparecen de pronto ritmos y conductas periódicas. El estudio de cómo hace el caótico "ruido" a nivel molecular para dar origen a una conducta periódica a nivel macroscópico<sup>16</sup> está recién en sus comienzos. Los sistemas biológicos, poseedores de los *feedbacks* más perfectos que se conocen, capaces de mantener un estado estacionario ante las situaciones más variables, están llenos de "osciladores". Las conductas pueden tener períodos en el orden del milisegundo (descarga de señales en neuronas), del segundo (latidos cardíacos), del minuto (ondas peristálticas intestinales), de la hora (oleadas de crecimiento de la avena), de días y semanas (ciclos sexuales), etc. Hoy se están haciendo esfuerzos por entender cómo hacen los procesos químicos para dar origen a conductas periódicas y a estructuras ordenadas, con millones y millones de bits de información, con memorias y *feedbacks*<sup>10, 17</sup>. Es decir, se está estudiando cómo el caos se hace máquina y la máquina organismo, en base a un planteo distinto del planteo termodinámico planteado en el Ejemplo 4. El nivel de conocimientos biológicos, fisicoquímicos y matemáticos que se requieren para trabajar en estos campos obliga a formar especialistas a través de toda una carrera universitaria. De otra forma el biólogo "clásico" no saldría de la etapa descriptiva, ni el físico saldría de la construcción de análogos mas o menos intrascendentes.

### **Qué no es biofísica**

Así como el lego suele asociar la Física, no a sus principios, sino al uso de aparatos complicados, también suele creer que la biofísica consiste en el uso en biología de una tecnología complicada. La existencia de la biofísica no depende de la complejidad de ningún aparato. Tan "físico" es un espectrofotómetro para infrarrojos como una simple balanza. Lo que va a determinar si se está haciendo o no biofísica es la utilización posterior de la información obtenida con esos instrumentos. No hay que olvidar que, a pesar de la utilización en biología de aparatos de resonancia magnética nuclear, microscopios electrónicos y aparatos de difracción de rayos X, el instrumento más complejo y avanzado que utiliza un científico sigue siendo su cerebro: *no es* biofísica la utilización de un electrocardiograma transistorizado y con registro remoto para averiguar si el corazón de un enfermo coronario late rítmicamente, y *sí lo es*, en cambio, la utilización de una simple balanza para ver si una célula se comporta como un osmómetro. A menudo la situación es peor aún: algunos creen que es misión del biofísico explicarle a otros profesionales cuanto método experimental estos usan pero cuyas bases no están preparados para entender. Sin embargo, aún cuando el desarrollo tecnológico haya alcanzado y sobrepasado el nivel científico de muchos profesionales, la misión de la biofísica no consiste en explicarles el principio y los fundamentos del manejo de instrumentos. Si hubiera sido así, en lugar de desarrollar la biofísica hubiera bastado con preparar mejor a dichos profesionales con cursos sobre instrumentación, como los existentes en muchas universidades, a fin de que entiendan el principio de los métodos que se suelen usar en sus propios campos de trabajo.

## De dónde salen los biofísicos

A esta altura del artículo espero que resulte claro que la biofísica no empezó de repente el día en que algún genio lanzó una definición, sino que el enfoque físico del estudio biológico se ha ido desarrollando gradual e irregularmente. Hasta hoy la biofísica ha sido desarrollada fundamentalmente por médicos, bioquímicos y biólogos que complementaron sus conocimientos con cursos de matemáticas, física y fisicoquímica. Estas siguen siendo, sin embargo, su "pata floja". La siguiente anécdota personal puede resultar ilustrativa. Me encontraba tratando de resolver un problema de difusión de sodio en una membrana biológica del tipo de la figura 1, que constaba de varios compartimientos. Tenía ante mí una ecuación tan complicada, con tantos símbolos y subíndices que estos se caían por los bordes de la hoja. Una vez que me hube convencido de que ella era más ecuación que yo matemático, fui a pedir ayuda a un matemático amigo. "Aquí traigo un problema matemático" comencé diciendo. Luego le expliqué el problema. "Estás equivocado — contestó— este no es un problema matemático. La matemática ya lo resolvió el siglo pasado. El problema es tuyo que no sabes matemática".

Muchas veces los biofísicos se ven en situaciones análogas, pues los problemas biológicos que deben resolver son muy complejos y muchas veces requieren el uso de tecnologías y conceptos más avanzados de los que él conoce. No le basta con haber aprendido un par de capítulos de la física dedicados a la cristalografía, pues los cristales más complejos del mundo no-biológico son juegos de niño al lado de un cristal de proteína. La computadora más sofisticada resulta simple aún al lado del cerebro de un pajarito. La miniaturización ingenieril más increíble es irrisoria al lado de la miniaturización biológica: todo el programa para hacer un señor de bigotes está contenido en una sola molécula, el DNA. Además uno no está seguro que la solución a un problema dado vaya a quedar confinada dentro de los límites de la especialidad para la que se había preparado. ¿Qué especialista en absorción de azúcares iba a sospechar que hoy necesitaría conocer técnicas de spin echo? ¿Qué especialista en riñón iba a soñar que un día necesitaría entender los potenciales de superficies en los aluminosilicatos? ¿Qué especialista en cultivo de tejidos iba a creer que llegaría a estudiar a Shannon para comprender cómo se introducen errores de generación en generación celular hasta liquidar su cultivo?

Con honrosas excepciones los físicos que aprendieron biología son malos biofísicos. En muchos casos se trata de físicos malos que buscan su segunda chance en la biología. Terminan asociándose con algún biólogo para fabricar algún aparato raro que mide veinte variables a la vez y —esto es fundamental— las computa y las grafica. La mayoría de los físicos no conoce los problemas de la biología moderna y la menosprecia. Cuesta mucho convencerlos de que el problema no es ver qué descubre un físico en el cerebro, sino ver cómo hace el cerebro para hacer física.

Hoy en día sólo algunas de las universidades del mundo tienen una Carrera de Biofísica. Otras tienen "orientaciones" biológicas para físicos, o complementación física para bioquímicos, biólogos y médicos. Otras tienen un par de cursos que tarde o temprano mueren en cursos de instrumentación (radioisótopos, ultracentrifugación, espectrometría, etc.) o en cursos de física para no-físicos. Sin duda la salida correcta es la que han adoptado las universidades más avanzadas: reunir físicos, biólogos, matemáticos, médicos, ingenieros, psicólogos, etc. y formar biofísicos a través de una carrera *ad hoc*.



## ¿Qué hacen los biofísicos?

Hoy la mayoría hace investigación y docencia. Según dicen los historiadores de la ciencia, este fenómeno es típico de toda ciencia nueva. Estas tareas se cumplen en muy pocos casos en departamentos de biofísica. Lo más común es que los biofísicos trabajen dentro de departamentos de biología, agricultura, fisiología, física, etc.

La mayor parte del resto de los biofísicos trabaja en industrias biomédicas. Reemplaza con ventajas al ingeniero que trata de entender a los médicos y al médico que trata de aprovechar sus conocimientos de ex-radioaficionado. Sus tareas incluyen la fabricación de contadores de radioisótopos que detectan y mapean tumores; el diseño de prótesis que transducen señales para que un ciego o un sordo pueda utilizar otros canales de información que no tenga dañados; el diseño de fármacos que se distribuyan en el organismo de tal o cual manera, etc.

Un pequeño número de biofísicos trabaja en problemas biológicos planteados por la vida en situaciones extremas (el espacio, a Antártida), problemas agrícolas, problemas sanitarios planteados por la contaminación del aire, el suelo y las aguas con productos radiactivos, químicos, etcétera.

## Qué problemas tienen los biofísicos

Los biofísicos tienen problemas comunes a todos los científicos (sus posibilidades de trabajo, su enajenado papel social, etc.) y problemas específicos. Por la naturaleza de este artículo vamos a ocuparnos aquí sólo de los segundos.

### Problemas Universitarios

- 1) El biofísico está en una Tierra de Nadie entre varias Ciencias (Física, Biología General, Fisiología, Bioquímica, Matemáticas, etc.). Su progreso depende de la colaboración de todas ellas. Por el contrario, todas lo consideran (y tratan como) un intruso. En universidades con feudos-cátedras que enseñan asignaturas clásicas la única tarea multidisciplinaria es sacarse a los biofísicos de encima.
- 2) El estudiante de biofísica necesita tomar cursos en varias facultades. En universidades que no tienen un campus eso es un vía crucis.
- 3) Aun en el caso en que se coordine un plan, ninguna facultad le confiere título alguno que lo habilite para nada. Ni siquiera para presentarse a concursos donde enseñe lo que la Universidad le enseñó.
- 4) El título profesional, aun cuando llegara a ser conferido, no sirve para ejercer profesiones liberales. Dada la actual estructura económica social de nuestro país, las carreras que no desembocan en una profesión liberal prosperan difícilmente.

### Problemas a nivel extrauniversitario

- 1) El CNICT no tiene comisiones de biofísica. Todo subsidio, beca, calificación de miembros de carrera, etc., es hecho en distintas comisiones (Medicina, Química, Biología, etc.) Esto, en el mejor de los casos, podría llegar a resolver el problema individual. Nunca el desarrollo planificado de la biofísica.
- 2) En nuestro país el biofísico no sólo no está al servicio de la sociedad sino que no tiene forma de conectarse. Desconoce la política científica que debe apoyar y no participa en su elaboración.
- 3) La industria nacional no absorbe al biofísico. Como la solución de la mayoría de los problemas que tiene generalmente no depende tanto de la aparición de un aparato o un producto que no se

conozca ya en algún otro país, no utiliza científicos. La mayor parte de la producción en la que el biofísico podría participar, ya viene diseñada del extranjero, incluida su adaptación al mercado local.

En resumen: la Biofísica depende en forma crucial del cambio de la estructura universitaria y nacional. Además lo favorece, porque requiere que los científicos de distintas ramas colaboren entre sí y recuperen la cultura científica que han ido perdiendo por la forma ultraspecializada en que se trabaja actualmente en las ramas clásicas.

## Bibliografía

- 1 Schrödinger, E.: "What is life?". Cambridge University Press, 1945.
- 2 Galeotti, G.: *Ricerche di elettrofisiologia secondo i criteri dell' elettrochimica*. Z. Allg. Physiol. 6: 99, 1907
- 3 Curie, P.: "Oeuvres". Gautier-Villars, París, 1908.
- 4 Onsager, L.: *Reciprocal relations in irreversible processes*. Phys. Rev. 37: 405 y 38: 2265, 1931.
- 5 Kedem, O.: *Criteria of active transport*, en "Membrane transport and Metabolism" (Ed. Kleinzeller y Kotyk), Acad. Press, Londres, 1961.
- 6 Cerejido, M y Rotunno, C. A.: "Introduction to the Study of Biological Membranes". Gordon and Breach, Londres, 1970.
- 7 Berendsen, H. J. C.: *Water structure*, en "Theoretical and Experimental Biophysics". (Ed. Cole). Marcel Dekker, N. York, 1967, vol. I.
- 8 Penniston, Harris, Asai y Green: *The conformational basis of energy conservation in membrane systems. The conformational changes in mitochondria*. Proc. National Academy of Sciences 59: 624. 1968.
- 9 Morowitz, H. J.: "Energy flow in Biology". Academic Press, N. York, 1968.
- 10 Prigogine, I.: *Structure, disipation and Life*, en "Theoretical Physics and Biology" (Ed. Marois), North Holland, Amsterdam, 1969.
- 11 Von Neumann, J.: *The general and logical theory of automata* en "Cerebral Mechanisms in behaviour" The Hixon Symposium (Ed. Jaffress) John Wiley, N. York, 1951.
- 12 Wiener, N.: "Cybernetics". John Wiley, N. York, 1948.
- 13 Canfield, J. V.: "Purpose in Nature". Prentice Hall, N. York, 1966.
- 14 Von Foerster, H. and Sopf, G. W. (Editores) "Principles of self-organization". Pergamon Press, N. York, 1962.
- 15 Von Foerster, H.: *From stimulus to Symbol: the economy of biological computation*, en "Sign, Image and Symbol" (Ed. Kepes), G. Braziller, N. York, 1966.
- 16 Derksen, H. E.: "Axon membrane voltage fluctuations". North Holland, 1965.
- 17 Katchalsky, A. y Spangler. R.: *Dynamics of membrane processes*. Quat. Rev. Biophysics 1: 127, 1968.