

aumento de polvo en la atmósfera durante el período de un siglo), entonces la clorofila de las especies B puede ser tan modificada que puede resultar más eficiente a baja intensidad de luz, o la especie D puede alterarse de tal manera que flote a más altura dentro del agua. Por tanto, la composición de especies dentro del ecosistema podría permanecer inalterada, pero una o más especies cambiarían sus propiedades, manteniendo así la efectividad de la biomasa a través del cambio evolutivo de las especies. La capacidad de las especies para alterar sus propiedades en una progresión continua, estable, a largo plazo, fue en primer lugar obviamente importante para la aparición en escena de la diversidad, y esta capacidad para evolucionar continúa jugando un papel esencial en las interacciones entre la biomasa y la biosfera.

En resumen, la vida sobre la Tierra es una fina película que existe primordialmente en la superficie y es altamente heterogénea, tanto cuantitativamente como cualitativamente. Es un tejido que se ajusta en un patrón en cuanto a que consta de multitud de unidades y colectividades unidas por un complejo de interacciones. La materia y la energía fluyen a través de la película en complejas carreras y la propia carrera está constantemente alterando sus propiedades, como respuesta a los cambios del ambiente. El continuo juego entre la vida y la Tierra las ha entrelazado tan estrechamente que la historia y las propiedades de una pueden discutirse difícilmente sin hacer referencia a la otra. Los cambios progresivos de la vida y de la Tierra están íntimamente ligados y entremezclados en la historia de la Tierra como bioplaneta, el único planeta así conocido hasta ahora.

Referencias

- COKER, R. F.
This Great and Wide Sea. New York, Harper & Row (Torchbook 551), 1962.
- DOWDESWELL, W. H.
General Ecology. New York, Harper & Row (Torchbook 543), 1962.
- ODUM, E. P.
Ecology. New York, Holt, Rinehard & Winston, 1963.

Niveles de organización

La vida se caracteriza por una jerarquía de estructura y de control funcional que comprende una escala que va desde las más diminutas interacciones atómicas y moleculares hasta las relativamente enormes distancias de comunicación logradas por la sociedad humana al ordenarse a sí misma.

Al intentar caracterizar la biomasa entera, nos hemos visto forzados a admitir que tiene componentes y que las afirmaciones hechas acerca de las propiedades de toda la biomasa o de sus componentes, no pueden separarse por completo unas de otras. Hemos visto que la biota entera de la Tierra constituye un ecosistema que para ciertos fines debe verse como un todo integrado, pero para otros fines debe admitirse que posee subsistemas más pequeños dentro de él, tales como pantanos, campos y bosques. Dentro de éstos, también hay compartimientos funcionales: autotrofos, heterotrofos y sus subdivisiones, que son los organismos vivos individuales de la experiencia ordinaria. Podemos generalizar todo esto diciendo que la biomasa está organizada en sucesivos niveles de componentes o unidades que interaccionan mutuamente. Cualquier fenómeno biológico que elijamos para analizarle, cae dentro o es producto de esta jerarquía de unidades de interacción.

En este capítulo nos vamos a concentrar en el aspecto jerárquico de la biomasa, de su organización en componentes de orden sucesivamente más bajo. Podemos empezar casi con cualquier componente porque las unidades fundamentales y el orden de los niveles a través de la biomasa son, en general, iguales. Ya nos hemos referido a dos niveles fundamentales: el ecosistema y el organismo. No siempre están tan netamente y sencillamente delineados; los ecosistemas distinguibles pueden interaccionar como partes de un ecosistema mayor y con frecuencia resulta útil reconocer a ciertos grupos de organismos como componentes intermediarios de un ecosistema. Designamos al ecosistema y al organismo como niveles principales y a los otros como subdivisiones, en parte por lo que conocemos de la naturaleza de la biomasa y en parte por conveniencia y costumbre. Estas designaciones son las que usaremos en lo que exponemos a continuación.

Los organismos son unidades que interaccionan con los ecosistemas, pero ellos a su vez, están, con frecuencia, compuestos de células que interaccionan (Figura 4-1). De nuevo, tenemos dificultades de definición, ya que hay organismos que no tienen células componentes (unicelulares o acelulares, como las amebas) y hay otros cuyas células se

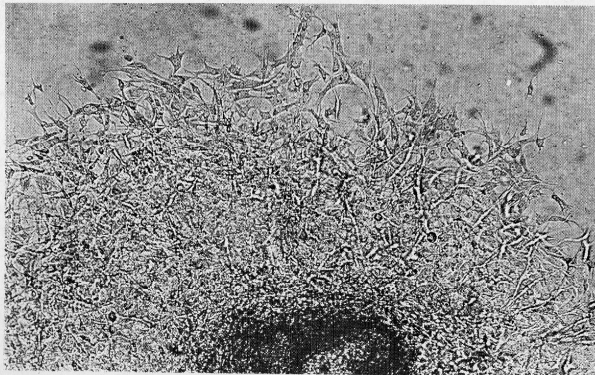


Figura 4-1. Un trocito de tejido de ratón, en una placa de cultivo, con células que emigran fuera de la masa.

presentan en colectividades (tejidos y órganos) que se consideran, para ciertos fines, como componentes intermedios de los organismos. Las células, como componentes, son, sin embargo, tan ubicuas, y sus propiedades, como unidades, son tan fundamentales para el comportamiento de los organismos y de los ecosistemas, que se acepta generalmente a las células como un tercer nivel principal de organización biológica.

Aunque las células son unidades en ciertas situaciones y contextos, ellas también tienen componentes, y estos componentes, a su vez, tienen otros. Una célula contiene partes distinguibles que poseen funciones especializadas a las que, con frecuencia, se hace referencia como a orgánulos (Figura 4-2). Los orgánulos están compuestos de elementos estructurales, membranas, gránulos y materiales amorfos. Estos elementos estructurales pueden separarse en grandes componentes moleculares y las grandes moléculas pueden ser disociadas en otras más pequeñas. Aunque el proceso de disociación puede llevarse hasta los átomos e incluso bajar hasta las partículas subatómicas, el dominio de moléculas relativamente grandes se toma, generalmente, como el nivel más bajo. Las moléculas, las células, los organismos y los ecosistemas son considerados como los niveles principales de la biomasa, y cualquier tratamiento biológico es incompleto si no tiene a todos ellos en consideración. La biomasa, tanto funcionalmente como estructuralmente puede considerarse como un juego sin fin de variaciones, sobre el antiguo tema de las cajas chinas (Figura 4-3). En la jerarquía de las unidades triangulares, todas las unidades son idénticas excepto en tamaño. En la biomasa existe un orden jerárquico similar con unas cuantas diferencias importantes, por lo menos; estas unidades son muy diferentes tanto entre como dentro de los niveles; la estructura en total es dinámica en lugar de estática, y las unidades están interaccionando constantemente. Sin embargo, las relaciones son similares en cuanto a que este ecosistema (ABC) está compuesto de organismos (AEG), que están compuestos de células (AHJ), que están compuestas de moléculas (AKM). Las propiedades de todo el ecosistema entero están íntimamente relacionadas con las propiedades de cada nivel subordinado, hasta llegar al más pequeño.

Para concretar este punto, imaginemos la siguiente escena (Figura 4-4). Un conejo ha estado comiendo los tallos jóvenes o brotes en el borde de un claro del bosque. De repente, recibe una alarma y salta hacia arriba, solamente para ponerse frente a un lince que se ava-

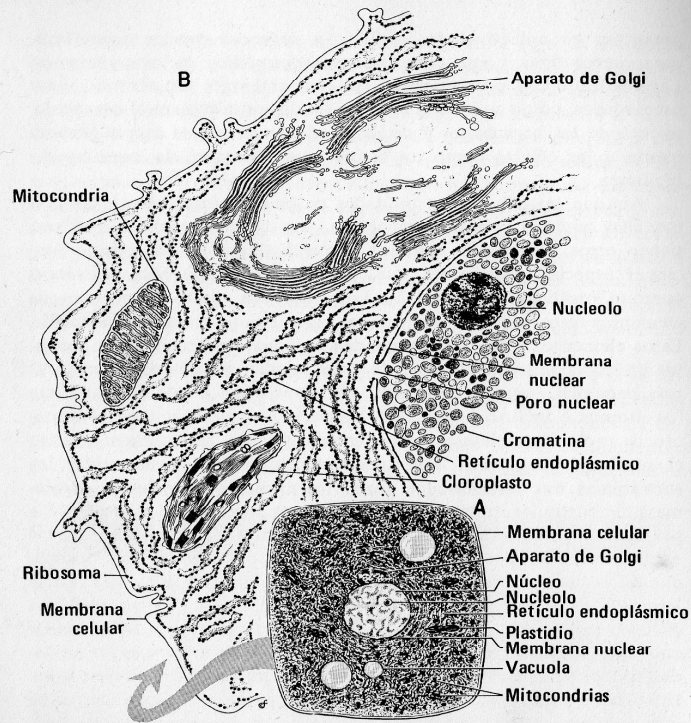


Figura 4-2. *Orgánulos que hay en una porción de una célula (A) aumentados en B. (Tomado de Abramoff y Thomson, Laboratory Outlines in Biology 1962, W. H. Freeman and Co. San Francisco.)*

lanza sobre él. ¿Cuál es la mejor interpretación y explicación biológica de este acontecimiento? “Claramente, dice el ecólogo, estamos contemplando un pequeño sector de un ecosistema, específicamente una porción de una cadena alimentaria que implica un heterotrofo secundario (el linco) apoderándose de un heterotrofo primario (el cone-

jo), que a su vez se estaba alimentando de un autotrofo (planta verde). La energía solar capturada por la planta verde está siendo transmitida y repartida dentro de un ecosistema.”

2. “Es cierto todo esto, dice el fisiólogo animal, pero profundicemos. El comportamiento no es sólo lo que usted ve al mirar al organismo entero. Vamos a situar unos electrodos de registro sobre aquel conejo y veamos lo que realmente está sucediendo. ¿Observa usted esa descarga que hay en los nervios sensores justo antes de que el animal

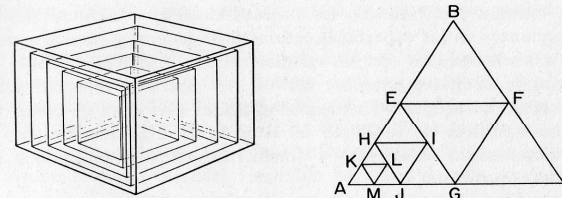


Figura 4-3. *Orden jerárquico en cajas chinas y en triángulos subdivididos. Observe que el triángulo ABC está formado por cuatro triángulos idénticos, uno de los cuales es AEG. Del mismo modo, AEG está formado por cuatro triángulos, uno de los cuales es AHJ. Este triángulo, a su vez, está formado por cuatro triángulos, uno de los cuales es AKM.*

leve la cabeza? Ingresa directamente en el sistema nervioso central, sube los tractos ascendentes, establece una conexión en el hipotálamo e irradia hacia arriba en la corteza cerebral. No sé todavía todo lo que sucede allí, pero de algún modo se produce una integración de las señales que llegan y van hacia fuera como descarga descendente. Este flujo nervioso se desplaza a lo largo de la medula espinal y sale por las neuronas motoras; los músculos se contraen y salta. Esto es lo que realmente sucede durante el segundo de terror; es preciso bajar al nivel del sistema nervioso para hacer una apreciación real de la conducta del conejo.”

3. Ahora es el especialista celular el que interviene: “Ya veo que ustedes los fisiólogos siguen aferrados a los complicados caminos del sistema nervioso. Por ellos nunca llegaremos al fondo de la cuestión. Miremos un corte fino nervioso. Estas vías neurales son cadenas de células con mecanismos de puesta en marcha en los puntos de unión en-

tre ellas. ¿Cuáles son los intercambios de sustancias y de energía que tienen lugar en estos dispositivos? Intente entender a las células y lo que son estos interruptores y tendrá usted la clave del problema en conjunto.”

4 “Ciertamente, interviene el microscopista electrónico, estas uniones parecen ser muy interesantes y sin duda pueden ser la clave de la comunicación intercelular. Sin embargo, mis micrografías electrónicas muestran que probablemente no son más que un caso especial del problema general de la naturaleza de las superficies celulares. Ciertamente, estamos tratando con los mismos elementos estructurales que están presentes en las superficies celulares en general y parece como si estuviesen relacionadas con las mismas clases de actividad. Dudo que lleguemos realmente a entender las uniones neurales, especializadas y complicadas, hasta que no tengamos una idea más clara de cómo funciona la superficie de la célula en situaciones más sencillas. Yo me estoy concretando sobre esto y finalmente estoy empezando a centrarme en el problema”.

5 “Está bien, dice el bioquímico, pero usted no entenderá el modo de operar la superficie celular, ni ningún otro orgánulo, hasta que usted no sepa cuál es su composición molecular y cómo se comportan estas moléculas. Puede usted hablar tanto como desee acerca de las

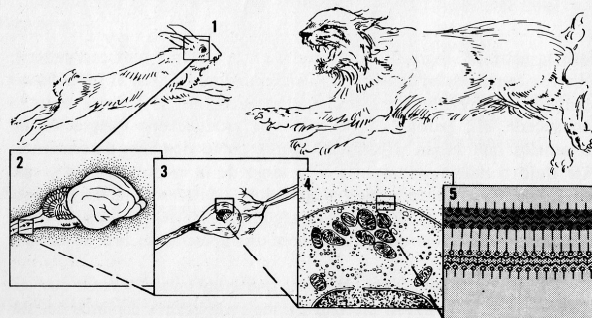


Figura 4-4. Orden jerárquico en un hecho biológico, visto con resoluciones crecientes. Niveles: 1=organismos, 2=órganos, 3=células, 4= orgánulos, 5= moléculas.

cadenas de células y de las interacciones entre ellas, pero eso no le servirá de nada hasta que usted no sepa cómo se comportan todas estas cosas a nivel molecular. De hecho, como usted bien sabe, el sistema nervioso es un poco inadecuado o difícil para poder estudiar esto y se ha avanzado mucho más en lo referente al músculo. La contracción era un misterio hasta que se ha demostrado que el músculo contiene dos proteínas, actina y miosina, ninguna de las cuales se contrae por sí misma, pero que en combinación forman fibras que pueden contraerse. Una vez que usted llegue a tener en el tubo de ensayo un sistema como este, ya estará en camino de aprender algo más.”

“Estoy de acuerdo, dice el biofísico, con el músculo estamos ya finalmente acercándonos. Permítame decir, sin embargo, que todavía no hemos logrado discernir qué es lo que realmente sucede en la contracción; hay una transformación de energía física que pasa a energía química; presumiblemente, ciertos enlaces ricos en energía se rompen en alguna relación espacial favorable para los grupos químicos que pueden usar la energía para acoplarse. Sin embargo, el problema total de la transferencia de energía es un poco complicado para seguirle en la contracción y probablemente no es fundamentalmente diferente del que se presenta en otras situaciones que son más fáciles de seguir. Por ejemplo...”

Las voces siguen sus pistas y nosotros intentamos volver a centrarnos sobre el espantado conejo en su salto de muerte. ¿Le comprendemos mejor como a un consumidor primario de una cadena alimentaria, como a un organismo sometido a “stress”, como un ensamblaje de mecanismos provocadores de señales y palancas llenas de energía, como una comunidad de células con orgánulos especializados, como una colectividad de una comunidad de células dentro de orgánulos especializados, como una colectividad de grandes moléculas altamente ordenadas, cuyas interacciones implican transferencias de energía de extrema delicadeza? ¿O bien necesitamos escoger entre estas alternativas? ¿Se puede describir a un conejo y analizarle igualmente a todos estos niveles y no los necesitamos todos ellos para forjarnos una idea completa? Como los tres hombres ciegos que inspeccionaban a un elefante, nuestros investigadores, aplicándose ellos mismos a cada uno de los niveles por separado, desarrollan diferentes concepciones del conejo. El conejo al saltar, sin embargo, no es su concepción, es el fenómeno concreto del momento. Cada concepción se re-

fiere a un aspecto, a un nivel particular y cada uno tiene sus ventajas y desventajas dependiendo de los fines que nosotros persigamos. Solamente al hacer la síntesis final de todas estas concepciones, incluyendo la elaboración de la interacción entre los distintos niveles, llegaremos a recuperar al conejo real.

¿Qué sucede realmente cuando investigamos un proceso completo desde su más alto nivel al más bajo? Vamos reduciendo el tamaño de nuestro campo de observación e incrementando la resolución dentro de él. Cambiamos nuestra posición conceptual de ventaja desde la nuestra natural entre objetos de nuestro mismo tamaño para ir a otros puntos entre objetos de mayor o menor tamaño. Al discutir anteriormente acerca de la vida y el universo, desplazábamos nuestro punto de ventaja para concebir objetos de un tamaño mucho mayor que el nuestro propio. Hemos hablado de órdenes crecientes de magnitud y hemos visto la enorme gama que va desde los objetos que vemos cada día hasta la inmensidad de las distancias cósmicas. La Tierra, hemos dicho, es un objeto de noveno orden. En estos mismos términos, un ecosistema de tamaño moderado podría ser aproximadamente de quinto orden, y la mayoría de los organismos de primer o segundo orden. ¿Qué órdenes de magnitud encontramos cuando centramos nuestro foco sobre los componentes de los organismos de la biomasa? (Figura 4-5).

Algunos músculos y nervios de un conejo son fácilmente visibles sin amplificación; son de orden de magnitud cero. Otros se verían mejor con un amplificador de 10 x; puede decirse que tendrían un orden de magnitud -1. La unidad conveniente de medida a este nivel es el milímetro (25,4 mm. = 1 pulgada). Que un músculo es un manojó de filamentos unidos entre sí por tejido colectivo, podría verse mejor con un amplificador 100 x; los filamentos del músculo son de orden de magnitud -2. Hablando en términos generales, las células (las células nerviosas, por ejemplo) son de un orden de magnitud -3, por lo que su descubrimiento hubo de esperar al microscopio óptico. La unidad conveniente de medida a esta magnitud es la micra (μ), una milésima de milímetro. Aproximadamente, la resolución del microscopio óptico está limitada al orden de magnitud -3 y es suficiente para distinguir partes de las células, pero no para apreciar los detalles más finos. El microscopio electrónico resuelve objetos de orden de magnitud -4 y -5 y nos ha hecho conscientes de la regularidad estructural que hay dentro de las partes de la célula. Con él, por ejemplo, se han

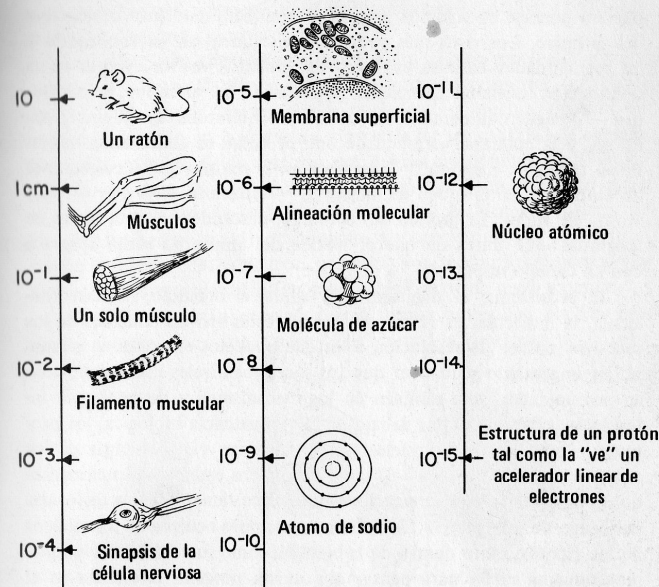


Figura 4-5. Escala de magnitudes decrecientes desde 10 cm. (el tamaño de un ratón) a 10^{-15} cm. (la estructura del protón tal como la "ve" un acelerador lineal de electrones.)

explorado las relaciones que hay entre las membranas de superficie en las uniones de la célula nerviosa y se ha revelado la alterada asociación espacial de la actina y de la miosina en el músculo en contracción. En esta escala, la unidad conveniente para las medidas se desplaza al Angstrom (\AA) que es una diezmilésima parte de una micra. Los objetos de un orden de magnitud -5 no incluyen a las moléculas individuales, pero los objetos muestran patrones y formas que reflejan directamente la alineación y el empaquetamiento de las moléculas. Si proseguimos hasta el orden de magnitud -6, justo por detrás de una buena resolución del microscopio electrónico, entramos en el mundo de las macromoléculas. Aquí, el haz de electrones deja paso a los rayos X como prueba adecuada de su estructura. Además, las moléculas

pueden ponerse en solución para ser examinadas mediante las técnicas del químico. Los virus más pequeños se encuentran en esta escala y las regularidades basadas en los ordenamientos de los átomos en la distribución cristalina, empiezan a notarse. En el orden de magnitud -7, pueden discernirse las distancias interatómicas en un cristal de sal, y la columna vertebral de una proteína es claramente visible. En el orden de magnitud -8 estamos en el mundo de las colecciones de átomos, y en el orden de magnitud -9 podemos distinguir un solo átomo de sodio. Es preciso, sin embargo, descender hasta el orden de magnitud -13 antes de que el núcleo del átomo de sodio aparezca con un tamaño respetable.

El ecosistema, el organismo, la célula, el orgánulo, la macromolécula, la molécula, el átomo, el protón: éstas son las unidades de los sucesivos niveles de resolución a los que podemos examinar la biomasa. Es importante reconocer que los sucesivos niveles difieren no sólo en sus unidades, sino también en los mecanismos y distancias de interacción entre ellos. Por debajo de la competencia biológica, los protones y otras partículas nucleares interaccionan vía la energía de los campos nucleares (Figura 4-6) cuya naturaleza estamos sólo empezando a comprender. Las interacciones de enlace tienen lugar a distancias del orden de magnitud -13. Tales interacciones ocurren en los núcleos de los átomos, tanto dentro de la biomasa como fuera de ella. No tenemos ninguna razón para pensar que exista ninguna diferencia en el comportamiento de los núcleos dentro y fuera de la biomasa; por ello, no pensamos en los procesos nucleares como si fuesen biológicos. Esto no significa que no son biológicamente importantes. Su existencia, en la forma expresada, es esencial para todas las reacciones biológicas y su apartamiento de la forma esperada —como en los

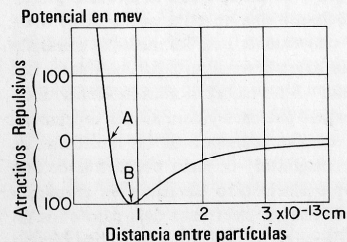


Figura 4-6. Fuerza nuclear (medida en millones de electrón-voltios) en relación con la distancia entre partículas. Cuando la distancia es menor que en (A), los nucleones se repelen entre sí. Se atraen con la máxima fuerza en (B).

efectos de las radiaciones— tiene profundas consecuencias a todos los niveles por encima del nivel nuclear.

Las reacciones intra-atómicas son en su mayor parte eléctricas y ocurren a lo largo de distancias de un orden de magnitud -9 (Figura 4-7). Difieren de las reacciones nucleares en muchos ordenes de magnitud, no sólo en la distancia, sino en la menor cantidad de energía implicada en ellas. Están también por debajo del dominio de lo biológico en cuanto a que no se conoce que haya ninguna diferencia entre el comportamiento de los átomos dentro de la biomasa y fuera de ella. Sin embargo, la estructura atómica y sus variaciones (en la ionización y niveles de excitación atómica) son, como los procesos nucleares, el sustrato para los fenómenos biológicos de nivel superior.

Los átomos están enlazados para formar moléculas sencillas mediante interacciones que tienen lugar entre los electrones de la capa

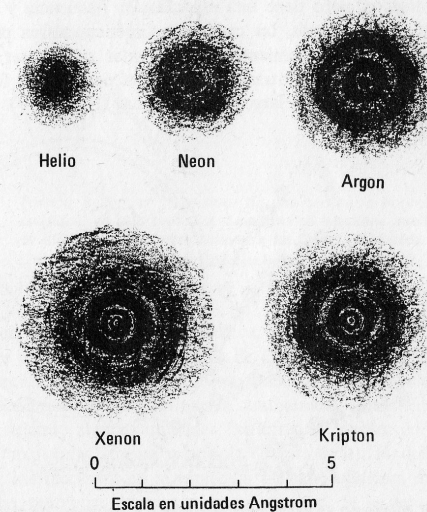


Figura 4-7. Distribución de los electrones en los átomos de los gases nobles, mostrando las sucesivas capas de electrones. (From Pauling, College Chemistry, 1964, W. H. Freeman and Co., San Francisco.)

externa de átomos vecinos. Este es el dominio del enlace químico, que implica distancias que son de órdenes de magnitud -7 a -8 . Como ocurre en los núcleos o los átomos, no hay interacciones *peculiares* para la formación de moléculas de la biomasa, aunque la frecuencia de ciertas clases de enlace (por ejemplo, los puentes de hidrógeno) es mucho más elevada dentro que fuera de la biomasa. Las diferencias reales entre la biomasa y la no-biomasa aparecen, en primer lugar, al nivel justo por encima de las moléculas sencillas. No hay ninguna diferencia esencial en el carácter de las interacciones individuales entre moléculas sencillas, pero en la biomasa está muy extendida la formación de cadenas, mediante la repetida formación de uniones de una clase común. La formación de grandes moléculas (polímeros) mediante la unión de muchas más pequeñas (monómeros) mediante reacciones semejantes al "apareamiento", se conoce con el nombre de polimerización (Figura 4-8). Se produce en sistemas que no son biológicos, pero tiene una espectacular frecuencia y variedad en los biológicos. Además, las cadenas poliméricas sufren plegamientos, torsiones y entrelazamientos para formar estructuras estabilizadas mediante reacciones intramoleculares (frecuentemente formando enlaces de hidrógeno) a lo largo de su longitud (Figura 4-9). Las pro-

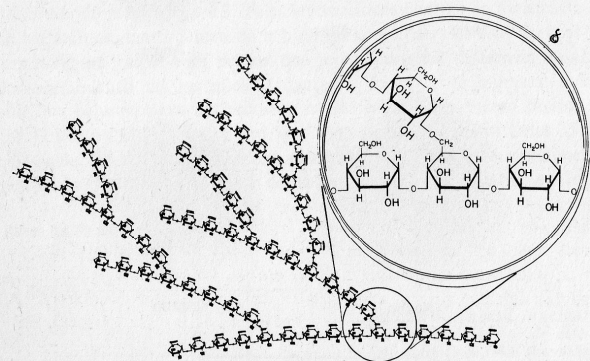


Figura 4-8. El glucógeno es una cadena ramificada, o polímero, de muchas moléculas iguales (monómeros) de azúcar. [Tomado de Clark (editor) Experimental Biochemistry, 1964. W. H. Freeman and Co., San Francisco.]

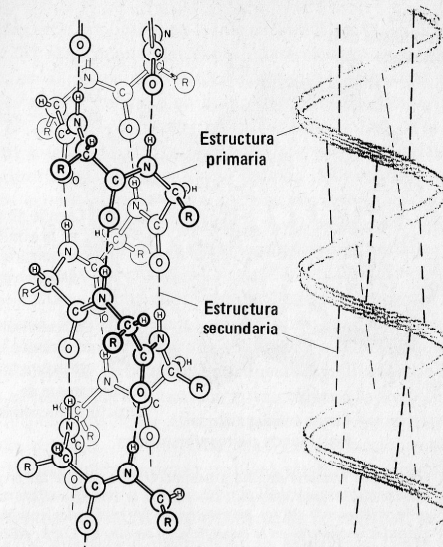


Figura 4-9. Torsión helicoidal secundaria de una secuencia polimérica de aminoácidos, en una proteína. La espiral se mantiene mediante puentes de hidrógeno, tal como muestran las líneas de puntos. [Tomado de Clark, (editor). Experimental Biochemistry, 1964. W. H. Freeman and Co., San Francisco.]

teínas son polímeros de aminoácidos, los ácidos nucleicos son polímeros de nucleótidos, los hidratos de carbono son polímeros de azúcares sencillos. La naturaleza y secuencia de los monómeros ligados en la polimerización, determinan la configuración tridimensional de la cadena, dejando algunas unidades "enterradas" dentro de la molécula y otras "expuestas" en su superficie (Figura 4-10). El orden más elevado de interacciones en la molécula plegada implicará directamente sólo a las porciones expuestas de su longitud. Si la naturaleza y secuencia de los monómeros se designa como estructura primaria, y el plegado de la cadena como estructura secundaria y terciaria, está claro que la reactividad de la molécula dependerá de las tres, pero

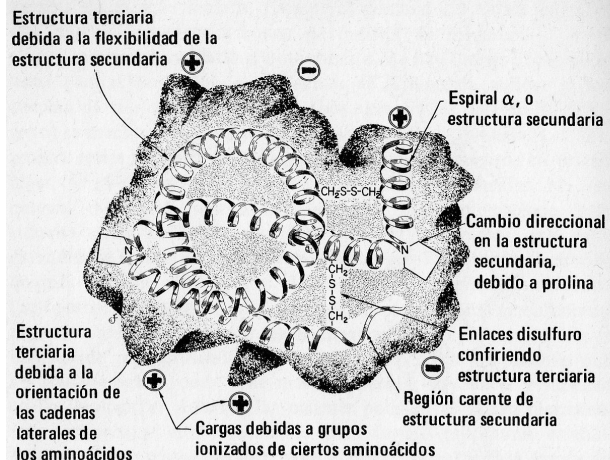


Figura 4-10. Estructura terciaria de una proteína. Obsérvese que las propiedades interacciones (por ejemplo, la carga y la configuración) dependen primordialmente de las porciones de las moléculas completamente plegadas, expuestas en la superficie. (Tomado de Clark, editor. *Experimental Biochemistry*, 1964. W. H. Freeman and Co., San Francisco.)

que la estructura terciaria será especialmente crítica. Además, como la estructura terciaria depende más de los enlaces de baja energía que la primaria, será fácilmente alterada. La reactividad de las macromoléculas biológicas se hace por tanto, peculiarmente sensible a la influencia del ambiente. Además, las reacciones de acoplamiento entre macromoléculas de éstas, están basadas, con frecuencia, en la suma estadística de muchas débiles propiedades de la superficie (por ejemplo, los modelos de distribución de carga) más que en uniones interatómicas específicas. La química de las macromoléculas biológicas se diferencia, por tanto, algo en su carácter de la química de los compuestos inorgánicos e incluso de la química de los compuestos orgánicos más pequeños y sencillos.

El salto desde las interacciones macromoleculares a las celulares es largo y sólo percibimos confusamente las clases de interacciones

que pueden estar implicadas en la integración de los varios componentes celulares. Al nivel donde las células interaccionan como unidades, sin embargo, es claro que estas interacciones pueden implicar tanto a las superficies celulares como a un intercambio de materiales o de energía, a través de estas superficies. De nuevo, otra vez, como en la estructura secundaria y terciaria de las macromoléculas, la posibilidad de una interacción directa está limitada a una porción del sistema total, en este caso a los materiales de la célula que hay en la superficie, o bien a los controlados por esta superficie. En el nivel siguiente de organización más superior, el organismo, las propiedades de la superficie de las células son de importancia crucial. La superficie está formada por complejos macromoleculares y por ello presenta interacciones características de este dominio. Pueden afectarse unas a otras de manera importante a distancias del orden de magnitud -5 , nivel al cual el empaquetamiento macromolecular es el determinante directo significativo de las propiedades. Las células pueden también interaccionar a lo largo de distancias mucho mayores mediante el desplazamiento de materiales desde las superficies celulares o a través de ellas. Las interacciones de este tipo solamente están limitadas por la cantidad, estabilidad y movilidad de los materiales que se van a intercambiar. En organismos complejos existen ordenamientos que facilitan la transferencia de material, de modo que la escala de interacción intercelular se extiende a través de todo el organismo.

Para alcanzar el siguiente nivel principal debemos saltar de nuevo sobre una gran fosa de ignorancia acerca de los procesos que rigen la interacción. Sabemos bastante relativo a las interacciones de las células como subunidades en un organismo, pero el concepto completo de todo lo que sucede entre las células, aun en el organismo pluricelular más sencillo, es algo que todavía se nos escapa. Sin embargo, los organismos pueden ser integrados como colectividades de células y ellos mismos tienden a agregarse en grupos, comunidades y ecosistemas. Como ocurre en las interacciones a niveles más bajos, éstas tienen que implicar tanto a la superficie como al intercambio de energías y materiales a través de la superficie. Las interacciones que integran a los organismos en niveles superiores, implican directamente sólo a una porción de los materiales y propiedades del organismo, con gran "stress" sobre la periferia. Las reacciones oscilan desde el tacto superficial, a través del intercambio de sustancias que van desde muy sencillas a muy complejas, hasta las sofisticadas señales de comunicación por pulsos de energía de nuestra propia

cultura. Incluso si nos excluimos nosotros mismos, como un caso muy especial, encontramos que los organismos hacen uso de una gran variedad de sistemas de comunicación, sistemas que van desde destellos producidos eléctricamente, como en la luciérnaga, hasta los quasi-lenguajes de los mamíferos superiores.

Para recapitular diremos que hay unidades características y modos de interacción, a cada nivel de organización de la biomasa. En general, las unidades se van haciendo más grandes y más complejas en sucesivos niveles cada vez más altos y que las interacciones entre las unidades sitúan el interés más elevado en la superficie o en las propiedades periféricas de las unidades. Las interacciones tienden a producirse a lo largo de amplias escalas en los niveles más altos y a necesitar menores cantidades de energía para acoplarse. Aunque los mecanismos de interacción de los niveles más bajos pueden seguir operando en cada uno de los niveles más altos, aparecen nuevas interacciones adecuadas para aquellos niveles. Por ejemplo, las unidades de los organismos complejos interaccionan vía la comunicación neural, que incluye componentes eléctricos y químicos, pero que claramente posee sus propias características nuevas, que no se mostraban en los niveles más bajos. Por tanto, las unidades cada vez más complejas poseen un orden de interacción cada vez más elevado. En este sentido, la jerarquía de la estructura tiene su paralela en la jerarquía del control funcional.

Referencias

BERTALANFFY, L. VON
Problems of Life. New York, Harper & Row (Torchbook TB 521), 1960.

5 «Turnover» y continuidad

La vida conserva sus propiedades, a pesar del constante "turnover" de todos los componentes, gracias a su capacidad de producir, pagando con la misma moneda, a todos los niveles.

Existe un constante flujo de energía y de materiales hacia el interior, a través y desde la biomasa. Sin embargo, la biomasa persiste como un todo a pesar del continuo "turnover" de los materiales que la componen. En tiempos sucesivos, la biomasa puede parecer la misma y puede contener el mismo número de clases de organismos, células, moléculas y átomos. Pero los componentes individuales no son los mismos; algunos se han ido fuera o se han roto y otros han ido hacia dentro o se acaban de formar. Los materiales y unidades están constantemente sufriendo un "turnover"; la sustancia de la biomasa está en flujo constante. Los componentes existentes a cada nivel están apareciendo y desapareciendo. Como la llama de una vela o una cascada, la biomasa perdura a pesar del cambio de sus componentes. En este capítulo vamos a concentrarnos sobre esta notable propiedad de la continuidad a pesar del continuo "turnover" (recambio).

Consideremos de nuevo el conejo que salta en el borde de un claro del bosque. Podemos volver al bosque año tras año y encontrar conejos. En un año determinado, si marcamos todos los conejos en agosto y volvemos en octubre, encontraremos que todos los conejos estarán mar-