El intercambio de gases propiamente dicho se lleva a efecto sólo en los alvéolos. Un examen retrospectivo de la Fig. 13-19 mostrará la transformación que experimenta en los alvéolos la composición del aire, en un caso típico. Parte del oxígeno se disuelve en el flúido que humedece el delgado epitelio de los alvéolos. Desde allí, el oxígeno se difunde hacia la sangre presente en el interior de los numerosos capilares que irrigan los alvéolos. Tal cual ocurre en la rana, la mayor parte del oxígeno se combina con la hemoglobina que contienen los glóbulos rojos. Simultáneamente parte del bióxido de carbono presente en la sangre se difunde hacia fuera en los alvéolos, desde donde puede ser expulsado con el aire exhalado. Por medio de la circulación de la sangre el oxígeno es luego transportado a todas las células del cuerpo. Simultáneamente el bióxido de carbono es recogido en las células del cuerpo y transportado hacia los capilares, que rodean los alvéolos. En el capítulo siguiente se considerarán detalles complementarios sobre los mecanismos químicos que permiten que el oxígeno y el bióxido de carbono sean transportados adecuadamente por la sangre.

La facilidad con la cual el oxígeno y el bióxido de carbono pasan del aire de los alvéolos a los glóbulos rojos de los capilares, puede apreciarse con ayuda de la Figura 13-20. En la parte superior se pueden observar porciones de dos alvéolos, uno hacia la derecha y otro hacia la izquierda. Cada alvéolo está tapizado por células epiteliales alargadas y delgadas. La zona comprendida entre los dos alvéolos está ocupada casi completamente por un capilar. Obsérvese también cuán delgada es la célula que forma la pared capilar, con excepción de la región donde está localizado el núcleo. El objeto de color gris oscuro que se observa dentro del capilar corresponde a un glóbulo rojo. En el punto más cercano su superficie dista solamente 0,7 μ del aire contenido en el alvéolo, es decir, ¡menos aún que la décima parte del diámetro de esta célula delgada!



# Digestión

## Los nutrientes

Hemos visto en el capítulo precedente que una célula vegetal puede sobrevivir si dispone de agua y sustancias minerales y se le proporciona carbono orgánico, o bien si ella es capaz de sintetizarlo. Partiendo de estos tres grupos de sustancias nutritivas, toda célula vegetal puede construir todos los demás componentes de su protoplasma. En cambio, si a una célula animal se le proporcionan únicamente estos tres tipos de sustancias nutritivas, muere pronto. Ello se debe a que necesita tres tipos adicionales de sustancias nutritivas, las cuales, a diferencia de la célula vegetal, no puede fabricar por sí misma.

En primer lugar, el agua, los minerales y el carbono orgánico fotosintetizado no proporcionan nitrógeno orgánico utilizable, necesario, por ejemplo, para la construcción de proteínas y ácidos nucleicos. El nitrógeno orgánico puede presentarse en forma de grupos amino $—NH_2$, y las plantas pueden producir $—NH_2$ a partir de nitratos minerales (cap. 7). Pero los animales no pueden hacerlo. Por lo tanto, sus células deben ser abastecidas con $—NH_2$ prefabricado o con otras formas de nitrógeno orgánico disponible. La fuente de suministro deben ser los vegetales o bien animales que hayan comido vegetales.

En segundo lugar, las plantas pueden convertir el aldehído fósforo-glicérico (ALPG) o la glucosa, u otras formas de carbono orgánico, en todas las vitaminas que necesitan. Los animales no. La mayoría de éstos fabrican alguna de las vitaminas, pero en muchos casos sólo en cantidades inadecuadas. Las posibilidades específicas varían aquí según las especies, pero ninguna es tan autosuficiente en este aspecto como una planta verde. Por consiguiente, las vitaminas que faltan deben ser suministradas en forma prefabricada, y de nuevo son aquí los vegetales la fuente originaria de este suministro.

En tercer lugar, a diferencia de los vegetales, los animales son incapaces de transformar el carbono orgánico en todas las veintitrés clases de aminoácidos necesarios para la fabricación de las proteínas. Según las especies, ocho o diez de estas clases, los denominados aminoácidos "esenciales", deben suministrarse en forma prefabricada y también son las plantas la fuente última.

En cuarto lugar, también a diferencia de las plantas, muchos animales son incapaces de convertir el carbono orgánico en todas las clases necesarias de ácidos grasos. Por lo tanto, varios ácidos grasos "esenciales" deben obtenerse ya preparados de las plantas

Por consiguiente, el mínimo de sustancias nutritivas que deben suministrarse a una célula animal comprende por lo menos siete tipos de materiales distintos: *agua, sustancias minerales, carbono orgánico, nitrógeno orgánico, vitaminas, aminoácidos esenciales* y *ácidos grasos esenciales*. Evidentemente los animales no pueden vivir sin las plantas, las cuales les proporcionan estos siete tipos de sustancias (fig. 12.1).

Si un animal pudiese obtener todas las sustancias nutritivas que precisa en forma de moléculas puras inmediatamente utilizables, no precisaría de un sistema digestivo. Le bastaría entonces absorber simplemente tales moléculas del ambiente a través de las superficies celulares. Éste es, efectivamente, el tipo de nutrición que utilizan diferentes tipos de seres heterótrofos, por ejemplo, los saprofitos y muchos parásitos. Pero, además del agua y de los minerales en ella disueltos, los animales comedores no disponen fácilmente de moléculas nutritivas directamente utilizables. Dichos animales disponen del protoplasma vegetal o animal, vivo o muerto, y debe

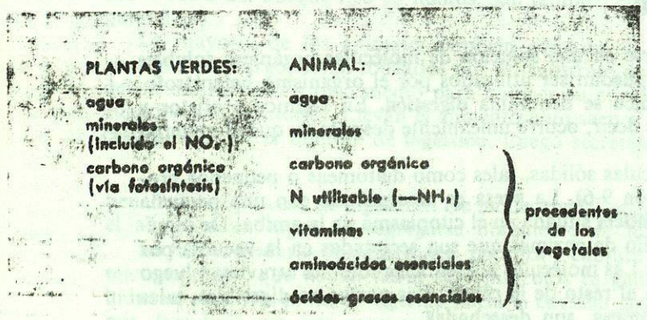


Fig. 12.1. Comparación de las mínimas exigencias alimenticias de los vegetales y animales.

indicarse aquí que la principal función del sistema digestivo es obtener, en primer lugar, estas masas de alimentos mediante la *ingestión* y, en segundo, desintegrar estos alimentos en moléculas nutritivas separadas, utilizables directamente por las células.

Esta segunda función se realiza mediante la *digestión*. En primer lugar, se realiza la *digestión mecánica*, que va dividiendo a los materiales en finas partículas suspendidas en el agua, y luego actúa la *digestión química*, que reduce estas partículas a dimensiones moleculares. En el transcurso de este proceso, las moléculas utilizables son separadas y las moléculas más complejas van siendo desintegradas en otras menores y asimilables. En esta disolución química de la masa alimenticia, los *enzimas digestivos* segregados por las *glándulas digestivas* juegan un importante papel

A consecuencia de la digestión se origina una masa de alimentos disueltos en la que pueden encontrarse tres grupos de sustancias. En primer lugar, las sustancias nutritivas que las células animales necesitan pero que no pueden fabricar por sí mismas, entre las que se encuentra el agua, los minerales y las cuatro categorías de sustancias de origen vegetal enumeradas anteriormente. En segundo lugar, las moléculas nutritivas que pueden ser fabricadas por las células animales pero que, puesto que se encuentran generalmente en los alimentos, no necesitan ser fabricadas. Así, por ejemplo, las células animales pueden elaborar ácidos grasos partiendo del carbono orgánico, pero no tienen necesidad de ello si estos ácidos grasos se encuentran ya en los alimentos ingeridos. Y, en tercer lugar, la disolución de sustancias alimenticias comprende generalmente materiales indigeribles o no utilizables; así, por ejemplo, la celulosa vegetal es un componente indigerible de los alimentos vegetales. Las sustancias que componen esta última categoría son eliminadas mediante la *egestión* (fig. 12.2).

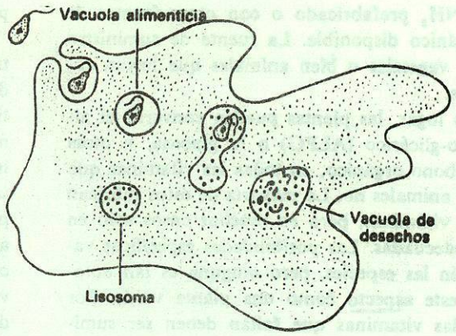


**Fig. 10-1**

Digestión intracelular en la amiba. Las enzimas digestivas almacenadas dentro de los lisosomas hidrolizan las moléculas alimenticias de la presa y las convierten en pequeñas moléculas que pueden ser absorbidas, por el citoplasma, a través de la membrana vacuolar.

## 10-2 DIGESTION INTRACELULAR

Los materiales sólidos deben convertirse en una solución de moléculas orgánicas solubles relativamente pequeñas, antes de que puedan ser utilizados por el organismo heterótrofo. Este proceso de descomposición química se denomina **digestión**. En algunos protistos y animales la digestión es intracelular, es decir, ocurre únicamente después de que el material sólido ha sido engolfado por la célula.

El protisto amiba engolfa las partículas sólidas, tales como diatomeas o pequeños protozoos mediante fagocitosis (ver Sección 9-6). La presa es incorporada con una pequeña cantidad del FEC en una **vacuola alimenticia** situada en el citoplasma de la amiba. De inmediato tiene lugar las digestión por medio de enzimas que son secretadas en la vacuola por lisosomas que se unen a ella (Fig. 10-1). Las moléculas alimenticias solubles atraviesan luego la membrana vacuolar y se incorporan al resto de la célula. Las partes no digeribles, tales como la concha de sílice de las diatomeas, son desechadas.

Aunque la digestión de la amiba puede considerarse como intracelular, debemos tener



en mente la membrana definida que persiste entre la diatomea, dentro de la vacuola de reserva, y el resto del citoplasma.

Como es obvio, la fagocitosis sólo puede presentarse cuando las partículas de los materiales alimenticios disponibles son más pequeñas que las células fagocíticas. Por tanto, no es sorprendente que este sistema de alimentación se restrinja a aquellos animales adaptados a obtener materiales alimenticios más pequeños con respecto a sí mismos. Como hemos visto en la esponja (Sección 5-1), esto se lleva a cabo mediante filtración de organismos microscópicos desde el agua circundante. Las planarias ingieren trozos más grandes de alimento, pero pueden romperlos mecánicamente hasta que alcancen el tamaño suficiente para poder ser engolfados por las células fagocíticas que tapizan la cavidad gastrovascular Fig. 5-5).

## 10-3 DIGESTION EXTRACELULAR

Otra solución al problema de digerir los alimentos consiste en que las células segregan las enzimas digestivas y la digestión del alimento tiene lugar fuera de la célula, es decir, extracelularmente. Una vez que se ha completado la digestión del alimento, las moléculas solubles pequeñas que se han producido (por ejemplo, azúcares, aminoácidos) pueden, por difusión por transporte activo, atravesar la membrana celular y penetrar en la célula.

Pero quizás la modalidad más simple de la digestión extracelular es aquella que utilizan los **saprófitos**. Estos organismos obtienen su alimento de materia orgánica no viviente, por ejemplo cadáveres de plantas y animales, productos alimenticios, excrementos, etc. El modo de nutrirse del moho común del pan *Rhizopus nigricans* es típico de este grupo. Prospera sobre un substrato de pan húmedo que esté en un sitio oscuro (Fig. 10-2). El pan, producto elaborado por el hombre a partir de la planta de trigo, suministra todos los requerimientos dietéticos del moho. Las moléculas de almidón del pan, sin embargo, son demasiado grandes para atravesar la membrana que rodea el contenido citoplasmático de las hifas. Para convertir las moléculas de almidón insolubles y de gran tamaño en pequeñas moléculas solubles, capaces de penetrar en las hifas del micelio; se necesita una enzima que digiera el almidón o **amilasa**. El *Rhizopus* secreta esta enzima sobre el pan y así la digestión resulta extracelular. Las moléculas de azúcar producidas son absorbidas por el micelio.

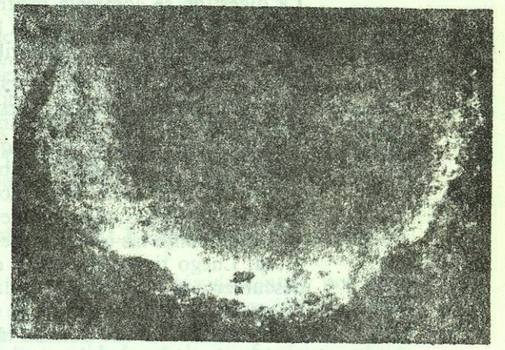

**Fig. 10-2**

El moho común del pan *Rhizopus nigricans* crece sobre un pedazo de pan. Este saprófito obtiene sus alimentos mediante la secreción de enzimas digestivas sobre el pan y absorbiendo los productos de la digestión que se opera sobre el substrato.

La digestión de los alimentos en el mismo substrato es la modalidad típica de digestión extracelular común a todos los hongos y a la mayoría de los bacterios. Los hongos bola que crecen sobre los muñones de los árboles muertos y los hongos de paraguas que aparecen sobre el suelo del bosque rico en humus, son también ejemplos de este tipo de nutrición (Figura 3-11).

La mayoría de los animales también digieren su alimento extracelularmente. Raras veces, sin embargo, viven rodeados por un substrato de materia orgánica. Por el contrario, deben utilizar uno u otro medio para obtener su alimento, el cual aparece sólo de vez en cuando en su contorno. Llevan el alimento a un saco o tubo del interior de su cuerpo, proceso que recibe el nombre de **ingestión**. Luego secretan en ese tubo o saco sus enzimas y tiene lugar el proceso de digestión. De modo que las enzimas se localizan directamente sobre el alimento en lugar de segregarse libremente en los contornos.

La *hidra*, cnidario de agua dulce, paraliza y captura presas vivas, tales como crustáceos microscópicos, que nadan hacia sus tentáculos cargados de nematocistos. La boca de la hidra se abre y la presa es ingerida hacia la cavidad gastrovascular (Fig. 10-3). W. F. Loomis descubrió que esta secuencia de acciones se desata por concentraciones bajas del tripéptido glutacio (compuesto por tres aminoácidos). Aparentemente cuando la presa hace contacto con un tentáculo, la perforación de su cuerpo por un nematocisto promueve la secreción de glutacio, lo cual a la vez desata la acción digestiva subsiguiente. Pequeñas cantidades de glutacio obtenibles en un Centro de Suministro de materiales de laboratorio y unas pocas hidras, proporcionan varias horas de observación y experimentación interesante.