



BLOQUE II. LA CÉLULA VIVA. MORFOLOGÍA, ESTRUCTURA Y FISIOLOGÍA CELULAR

TEMA 7. LA CÉLULA EUCARIÓTICA. FUNCIÓN DE NUTRICIÓN

Por ser un tema muy amplio y que incluye muchos apartados, será dividido en los siguientes subtemas:

Subtema primero:

7.1. Concepto de nutrición y tipos. 7.2. Ingestión. 7.3. Digestión celular. Orgánulos implicados. 7.4. Exocitosis y secreción celular.

Subtema segundo:

7.5. Metabolismo: concepto, tipos, aspectos generales, etc. (introducción al metabolismo subapartados del 7.5.1 al 7.5.3.). 7.5.4. Catabolismo celular.

Subtema tercero: 7.5.5. Anabolismo celular, divergencia metabólica. Fotosíntesis y quimiosíntesis. 7.5.6. Integración catabolismo-anabolismo.

Se va a tratar de seguir este orden, que es el que aparece en las indicaciones del temario oficial, pero para hacer más comprensibles los procesos, algunos de los apartados podrán encontrarse en diferente lugar.

SUBTEMA PRIMERO

5.1. CONCEPTO. NUTRICIÓN AUTÓTROFA Y HETERÓTROFA.

Se entiende por nutrición la entrada de materia y energía en la célula y la utilización y transformación de las mismas para la obtención de materia y energía propias.

La nutrición constituye una de las funciones vitales, es decir, una de las características propias y exclusivas de los seres vivos. Estos, son sistemas muy organizados que necesitan intercambiar continuamente materia y energía con el medio a fin de mantener este alto grado de organización.

La nutrición comprende muchos procesos incluidos en el conjunto de reacciones químicas, perfectamente reguladas por enzimas, que denominamos **metabolismo**. Se conocen dos tipos básicos de nutrición: nutrición **autótrofa** que es la que toma como fuente de materia sustancias inorgánicas y que, por supuesto, precisa una fuente de energía (solar o química) y nutrición **heterótrofa**, que es la que emplea moléculas orgánicas, tanto como materia prima como fuente de energía. En el apartado de metabolismo se especificarán estos conceptos.

La nutrición celular autótrofa comprende los siguientes procesos: entrada de sustancias a través de la membrana, metabolismo, transporte de sustancias y *excreción* (salida) de los productos residuales del metabolismo. La nutrición celular heterótrofa incluye, además de todos los procesos anteriores, la captura e ingestión del alimento, la digestión y la *defecación* (salida) de las sustancias no digeridas. (En seres pluricelulares, la especialización del trabajo lleva a que en no todas las células de los vegetales hagan la fotosíntesis y que no todas las células animales lleven a cabo la digestión).

5.2. INGESTIÓN.

Ingestión es la entrada de materia en la célula. Dado que existen muchos tipos de materiales, diferentes en composición, tamaño y propiedades físico-químicas (comportamiento eléctrico, hidrofilia, etc.) las células poseen múltiples mecanismos para lograr su introducción. A continuación se analizarán los procesos básicos de ingestión, diferenciados en dos grupos atendiendo al tamaño de las partículas ingeridas. Distinguimos entre el **transporte a través de la membrana plasmática de pequeñas moléculas y el de macromoléculas y partículas**.

5.2.1. Permeabilidad celular: difusión y transporte (TRANSPORTE DE PEQUEÑAS MOLÉCULAS)

La membrana plasmática es extraordinariamente selectiva, ya que debe permitir que moléculas esenciales, como la glucosa, aminoácidos y otras muchas, penetren fácilmente en la célula; también debe conseguir que estas moléculas y los intermediarios metabólicos permanezcan y, por último, que los productos de desecho salgan de ella. Así mismo, las células tienen que regular las concentraciones iónicas intracelulares (para conseguir una presión osmótica adecuada), lo que supone transportar iones a través de la membrana. Por ello, conviene hablar de algo más que de permeabilidad a secas o de semipermeabilidad: la membrana plasmática posee una **permeabilidad selectiva** que permite a la célula mantener un medio interno constante. (En el tema dedicado a las sales minerales se estudió el fenómeno de la ósmosis y se definió a las membranas biológicas como semipermeables, lo cual significa que dejan pasar el agua pero no las sales. Es hora de añadir que en realidad son semipermeables "inteligentes" puesto que dejan entrar y salir sales pero solo las que se necesitan, cuando se necesitan y en las cantidades precisas).

Dado que la bicapa lipídica actúa como una barrera muy impermeable a los iones y a la mayoría de las moléculas polares, las células han tenido que desarrollar (es inevitable expresarnos de forma Lamarckista) sistemas para hacer pasar estas sustancias a través de sus membranas; esto lo consiguen mediante proteínas transportadoras especializadas (recuerda que las proteínas constituyen el 60% de la composición de la membrana).

El transporte de pequeñas moléculas a través de la membrana se clasifica en función de los requerimientos energéticos en: **transporte pasivo** (no requiere energía) y que se realiza a favor de gradiente y **transporte activo** (requiere energía) que se realiza en contra de gradiente.

Conviene recordar el concepto de **gradiente**, entendido como una diferencia de valores de un parámetro que estemos midiendo en lugares próximos (recuerda la definición, estudiada en cursos anteriores, de *gradiente geotérmico*). En el transporte de sustancias, el *gradiente de concentración* y *gradiente eléctrico* son los que juegan un papel fundamental. El movimiento de sustancias en un medio en el que no haya barreras se realiza espontáneamente *a favor de gradiente*, es decir, desde donde hay más partículas (mayor concentración) a donde hay menos (menor concentración), hasta que se igualen las concentraciones a ambos lados. Si las partículas tienen carga por ejemplo positiva, se moverán hacia donde haya menos positivas (donde dominen las negativas). El transporte de una sustancia con carga eléctrica depende tanto de su gradiente de concentración (diferencia de concentración) como del gradiente eléctrico a través de la membrana (potencial de membrana). La suma de ambos gradientes constituye el **gradiente electroquímico**. [Parámetro: magnitud que se puede medir] [Puede haber mucho calcio en el exterior de la membrana y muy poco dentro, de modo que este ion tenderá a entrar por gradiente de concentración, pero si hubiera dentro de la célula más iones positivos que en el exterior (del tipo que sean), no entrará todo el calcio que pudiera por concentración, ya que el gradiente eléctrico también cuenta (las cargas, positivas en este caso también se moverán de donde hay más a donde hay menos)].

Las membranas plasmáticas están polarizadas eléctricamente siendo el interior de la célula negativo con respecto al exterior (hay más iones positivos fuera que dentro). Presentan,



por lo tanto, una diferencia de potencial que actúa facilitando la entrada a la célula de iones cargados positivamente y oponiéndose a la entrada de iones cargados negativamente. (Se detallará más adelante cómo las células mantienen esta diferencia de potencial).

Transporte pasivo

El transporte pasivo es un proceso de difusión a través de la membrana, que no requiere energía, ya que las moléculas se desplazan espontáneamente, *a favor de su gradiente de concentración y/o eléctrico* (gradiente electroquímico); es decir, desde una zona de concentración elevada a otra de concentración baja (y de donde hay más carga eléctrica del tipo de la partícula que se mueve a donde hay menos).

El transporte pasivo a través de la membrana puede tener lugar por: **difusión simple** o por **difusión facilitada**.

1. **Difusión simple.** Por difusión simple pasan a través de la bicapa lipídica las *moléculas no polares*, tales como el **oxígeno, nitrógeno, benceno, éter, cloroformo, hormonas esteroideas**, etc. Las moléculas *polares sin carga de pequeño tamaño* también atraviesan la bicapa lipídica. Este es el caso, por ejemplo, del **CO₂**, la **urea** y el **etanol** que se difunden rápidamente a través de la bicapa lipídica. (En realidad son moléculas pequeñas y *poco polares*). También y aunque pueda parecer paradójico, **el agua** pasa por entre las moléculas de fosfolípidos aunque con cierta dificultad.
2. **Difusión facilitada.** Los iones y la mayoría de las moléculas polares tales como glucosa, aminoácidos, nucleótidos y otros muchos metabolitos celulares, no pueden atravesar la bicapa, siendo transportadas a través de las membranas biológicas mediante *proteínas transmembrana* que pueden ser: **proteínas de canal** y **proteínas transportadoras específicas**.

Las **proteínas de canal** forman “poros acuosos” que atraviesan la bicapa y permiten el paso de ciertos iones junto con moléculas de agua. Estos canales se abren sólo de manera transitoria y son por ello *canales regulados*. Hay distintos mecanismos de apertura y cierre, pero en ningún caso se emplea energía: se aprovecha la diferencia de potencial electroquímico y suelen entrar a la vez varias moléculas diferentes “acompañándose” (es decir, que no van solas). Algunos de estos canales se abren al situarse en un centro específico una molécula que denominamos ligando; son **canales regulados por ligando**. Otros se abren en respuesta a un cambio del potencial de membrana (potencial o diferencia de potencial de membrana es la diferencia de cargas eléctricas que hay a ambos lados de la misma). Son los **canales regulados por voltaje**. Estos canales son muy importantes en las células nerviosas y musculares y forman parte del mecanismo de excitabilidad que caracteriza a estas células (recuerda la polarización, despolarización y repolarización de las neuronas). [Las proteínas tienen literalmente forma de tubo, con una tapa].

Las **proteínas transportadoras específicas, permeasas o carrier** se unen a la molécula a transportar y sufren un cambio conformacional (cambio en su estructura terciaria y por lo tanto de su forma en el espacio) que permite el paso de la molécula a través de la membrana. Cada proteína transporta solo un tipo de ion o molécula o un grupo de moléculas estrechamente relacionadas. Existe una velocidad máxima de transporte que se alcanza cuando el transportador está saturado. Como en los casos anteriores, este mecanismo permite la entrada o la salida de sustancias sin gasto de ATP, ya que el paso de las moléculas siempre es a favor del gradiente electroquímico (de donde hay más concentración a donde hay menos y/o de donde hay un exceso de carga a donde hay un defecto).

En estos últimos años se han descubierto proteínas que permiten y regulan el paso de agua. Son las llamadas **acuaporinas** (ya hemos visto que el agua puede atravesar la doble

capa de fosfolípidos y que puede también pasar por los “poros acuosos” junto con otras sustancias. Estos poros acuosos son otro tipo de acuaporinas). Ciertas enfermedades renales y otras que afectan al ojo, se sabe ahora que se deben a defectos en acuaporinas de algunos tejidos. Queda mucho por conocer acerca de la regulación de estos canales. [Lee el artículo dispuesto en la página web]

Transporte activo

Se realiza en contra de gradiente y, por lo tanto, con consumo de energía metabólica (ATP). Las proteínas transportadoras que intervienen se denominan **bombas**, siendo las más importantes las que transportan los cationes sodio, potasio, calcio y protones (H^+). A continuación se estudia, como ejemplo de transporte activo, la bomba de Na^+-K^+ .

Bomba de Na^+-K^+ . La mayoría de las células animales contiene una alta concentración de K^+ y una baja concentración de Na^+ con respecto al medio externo. Estos gradientes se generan por la llamada bomba de Na^+-K^+ debido a que el movimiento de ambos iones se produce simultáneamente. Se bombean tres Na^+ hacia el exterior y dos K^+ hacia el interior, con un gasto de ATP. (Tanto el sodio como el potasio, atraviesan la membrana plasmática por difusión facilitada a través de proteínas de canal y en ausencia de bombeo acabarían encontrándose en la misma concentración dentro y fuera de la célula).

El transporte activo de Na^+ y K^+ tiene una gran importancia fisiológica. De hecho, todas las células animales gastan más del 30 % del ATP que producen (y las células nerviosas más del 70 %) para bombear estos iones. Las principales funciones de la bomba de Na^+-K^+ son:

- 1- Mantenimiento de una **presión osmótica** adecuada al regular la concentración de iones (y con ello se regula la cantidad de agua en la célula).
- 2- **Excitabilidad:** la diferencia de potencial eléctrico es fundamental en células como las nerviosas y musculares, haciéndolas excitables (fenómenos de despolarización y repolarización).
- 3- **Cotransporte:** impulsa el transporte de glucosa y aminoácidos hacia el interior de algunas células: en las células del epitelio intestinal el transporte de glucosa se realiza mediante un sistema de **cotransporte** (transporte simultáneo de dos solutos) unidireccional: el Na^+ tiende a penetrar en la célula de forma pasiva a favor de su gradiente electroquímico por puntos diferentes a los de la bomba (dado que anteriormente la bomba lo expulsó fuera) y al hacerlo arrastra consigo a la glucosa (ella sí se mueve en contra de su gradiente) [ver esquema].

5.2.2. Endocitosis: pinocitosis y fagocitosis (TRANSPORTE DE MACROMOLÉCULAS Y PARTÍCULAS)

Las células también intercambian con el medio macromoléculas e incluso partículas de varios micrómetros de tamaño.

El proceso mediante el cual las células fijan e ingieren macromoléculas y partículas del medio recibe el nombre de **endocitosis**. El proceso por el que las células expulsan macromoléculas al exterior se denomina **exocitosis**. Ambos procesos suponen la formación y fusión de vesículas rodeadas de membrana.

Endocitosis

Consiste en la ingestión de macromoléculas y partículas mediante la invaginación de una pequeña región de la membrana, que luego se estrangula formando una nueva



vesícula intracelular. En este cambio de forma de la membrana intervienen componentes del citoesqueleto.

Según el tamaño de las vesículas formadas, hay dos tipos de procesos de endocitosis: pinocitosis y fagocitosis.

La **pinocitosis** (“bebida de la célula”) consiste en la ingestión de líquidos y solutos (incluidas macromoléculas) mediante pequeñas vesículas y la **fagocitosis**, (“comida de la célula”) es la ingestión de grandes partículas, como microorganismos o restos de células, que se engloban en grandes vesículas o vacuolas, llamadas también **fagosomas**.

La endocitosis también permite la incorporación de macromoléculas o partículas específicas tras su unión a proteínas receptoras de la membrana plasmática, proceso denominado **endocitosis mediada por receptor**. Se incorporan así a la célula ciertas hormonas, proteínas, colesterol e incluso ciertos virus y toxinas bacterianas. Las células pueden poseer diferentes receptores y así ingerirán distintas macromoléculas mediante este proceso.

En la mayoría de los casos, las macromoléculas y partículas ingeridas por cualquiera de estos procesos de endocitosis termina en los lisosomas. Dado que los lisosomas contienen enzimas hidrolíticas, el material ingerido se digiere y pasa al citosol donde puede ser utilizado por la célula. (Se verá en el apartado siguiente).

Pinocitosis. Casi todas las células eucarióticas ingieren continuamente líquidos con moléculas y macromoléculas disueltas por un proceso llamado pinocitosis, mientras que las grandes partículas solo son ingeridas por células fagocíticas especializadas.

La pinocitosis se produce en regiones concretas de la membrana plasmática. [Estas regiones son depresiones de la membrana que están recubiertas en su cara citoplasmática por una proteína, la **clatrina**. La clatrina se organiza formando una especie de cesto o almacén poliédrico que es responsable de la invaginación y estrangulación de la membrana plasmática para formar vesículas endocíticas revestidas por dicho almacén. Estas vesículas recién formadas, pierden rápidamente el revestimiento quedando como vesículas de superficie lisa].

Fagocitosis. La fagocitosis se da en muchos protozoos, siendo el mecanismo normalmente empleado para ingerir partículas alimenticias. También la presentan ciertos tipos de leucocitos, como los neutrófilos y macrófagos, para ingerir y destruir microorganismos. Los macrófagos desempeñan también un importante papel en la eliminación de células viejas o lesionadas y de residuos celulares.

Para que se dé la fagocitosis deben existir en la superficie celular receptores específicos para las sustancias a englobar. Así, cuando una partícula se une a los receptores de la superficie del fagocito (célula con la capacidad de fagocitar), induce a éste a emitir **pseudópodos** que engloban a dicha partícula, formando un **fagosoma**. A continuación, el fagosoma se fusiona con uno o más lisosomas y su contenido es digerido y utilizado posteriormente como alimento por la célula.

5.3. DIGESTIÓN. ORGÁNULOS IMPLICADOS.

La digestión celular es un proceso que consiste en la descomposición de las macromoléculas orgánicas (polímeros) en moléculas orgánicas sencillas (monómeros) que puedan ser utilizadas por la célula como materia prima, bien para la construcción de su propia materia o bien para la obtención de energía. Se trata de un proceso químico que requiere la presencia de enzimas específicas (enzimas digestivas), que intervienen en reacciones de hidrólisis. Los orgánulos directamente involucrados en este proceso son los lisosomas y las vacuolas y hay que destacar el papel de la membrana citoplasmática. Indirectamente también

colaboran los ribosomas y el R.E.R. produciendo y almacenando proteínas respectivamente y el aparato de Golgi produciendo las vesículas con estas proteínas enzimáticas. Podemos distinguir entre:

a) Heterofagia. Es la digestión de sustancias del exterior. El **fagosoma o vesícula endocítica** se fusiona con los lisosomas primarios, que liberan en él las enzimas hidrolíticas. El orgánulo resultante se llama **lisosoma secundario o vacuola digestiva**. En él, las enzimas degradan las moléculas complejas para transformarlas en otras más simples (nutrientes), que por difusión pasarán al citoplasma.

Los productos residuales de esta digestión (todo aquello que no pudo ser digerido) son expulsados después de transformarse el lisosoma secundario en **vacuola fecal**. Dicha expulsión al medio extracelular de material no digerido recibe el nombre de **DEFECACIÓN**.

b) Autofagia. Es la destrucción de los propios orgánulos y estructuras celulares. La autofagia se realiza en las llamadas **vacuolas autofágicas** y es un proceso frecuente en muchos tipos de células. Igualmente, los restos indigeribles son expulsados al exterior (defecación). La célula en ciertos casos puede llegar a la autofagia total. Esto sucede en tejidos enfermos, en los procesos de metamorfosis (artrópodos, anfibios), caída de hojas y frutos, etc. Se rompe la membrana de los lisosomas -que es inatacable por contener ciertas glucoproteínas en su cara interna-, y las enzimas se vierten en todo el citoplasma provocando la **necrosis celular** o muerte celular.

c) Digestión extracelular. Los lisosomas también realizan procesos de digestión de sustancias externas próximas a la célula. Un ejemplo lo constituyen las células óseas denominadas osteoclastos, que efectúan una digestión extracelular del tejido óseo para modificar su constitución anatómica; también es propia de la mayoría de los animales pluricelulares. Los lisosomas fusionan sus membranas con la membrana plasmática para verter las enzimas sobre los materiales a digerir (exocitosis). Posteriormente, por difusión o endocitosis hacen entrar las moléculas útiles. El proceso de digestión en los humanos es, así mismo, de tipo extracelular. No olvidemos tampoco a los hongos: todos tienen digestión extracelular.

5.4. EXOCITOSIS Y SECRECIÓN CELULAR.

La exocitosis consiste en la fusión de vesículas intracelulares con la membrana plasmática y la liberación de su contenido al medio extracelular. Según el origen y la finalidad de la exocitosis distinguimos entre:

Secreción, que es la expulsión al exterior de sustancias útiles para que actúen fuera de la célula. **Defecación**, que es la expulsión de los restos de la digestión. **Excreción**, por último, es la expulsión de residuos procedentes del metabolismo (suelen ser pequeñas moléculas y no siempre salen por exocitosis sino por difusión). (Atención: no deben confundirse estos tres procesos). Ejemplos de secreción: formación del glucocálix de la membrana plasmática; formación de la pared celular en células vegetales o de la pared bacteriana; formación de la sustancia intercelular del tejido conjuntivo; expulsión de las hormonas al medio interno del organismo; expulsión al medio extracelular de enzimas digestivas.

La membrana de las vesículas secretoras se incorpora a la membrana plasmática y luego se recupera por endocitosis. Es decir, existe continuamente un equilibrio entre exocitosis y endocitosis que asegura el volumen celular (Todo ello posibilitado por la estructura en mosaico fluido de las membranas celulares).