

T. 4. GENERALIDADES DE PROTOZOOS

1. ENCUADRE TAXONÓMICO

Los protozoos se incluyen dentro del subreino Protozoa y constituyen los organismos más primitivos que existen. La mayoría de ellos son unicelulares de tipo eucariota, es decir, provistos de un citoplasma que se halla separado del exterior y del núcleo por sendas membranas, plasmática y nuclear, respectivamente.

Puesto que existen protozoos de vida libre y protozoos parásitos, tanto de animales como de plantas, su taxonomía es complicada. Además, el carácter parasitario de algunos de ellos, como es el caso de *Pneumocystis*, ha sido de reciente descubrimiento.

En las asignaturas de Parasitología y Enfermedades Parasitarias, el objeto de estudio son solamente los protozoos parásitos. El primer parásito que se descubrió fue *Eimeira stiedae*, un protozoo de la vesícula biliar de un conejo (Leewenhoek, 1674). En la actualidad se conocen entre 45.000 y 70.000 especies de protozoos; de ellos, la mayoría son de vida libre; otros (entre 20.000 y 25.000) son fósiles y el número de protozoos parásitos tanto de plantas como de animales es de 7.000 a 10.000.

Dentro de los protozoos parásitos animales existen grupos, como los *Apicomplexa*, donde son todos integrantes son formas parásitas. Otros grupos están formados por formas de vida libre y de

vida parasitaria; tal es el caso de los flagelados, de los cuales la 6ª parte son parásitos y el resto son formas de vida libre.

El **hábitat** de los protozoos es muy amplio. Los de vida libre pueden estar en el suelo, agua, etc., mientras que otros pueden actuar en simbiosis o comensalismo con animales (por ejemplo, determinados protozoos ciliados que viven en la panza de los rumiantes sin causar ningún problema).

Los protozoos parásitos pueden ser transmisores de ciertas enfermedades o productores de enfermedades en animales por sí mismos. Algunos de los más patógenos son *Plasmodium*, agente causal de la malaria y *Trypanosoma*, productor de grandes pérdidas en la ganadería.

2. MORFOLOGÍA

2.1. MEMBRANA PLASMÁTICA

Los protozoos están rodeados de una **membrana plasmática** que, además de su actividad limitante y receptora, es capaz de controlar, de manera selectiva la entrada y salida de moléculas y materiales.

En los protozoos parásitos, así como en la mayoría de las células animales, la superficie se halla recubierta por una envoltura glicoproteica, denominada glucocálix, una capa activa que protege a la membrana y que está formada por glucoproteínas, glucolípidos y polisacáridos. En algunos grupos protozoos, el glucocálix constituye el complejo antigénico principal del parásito, que es de gran

importancia en la evasión de la respuesta inmunitaria del hospedador.

Al microscopio electrónico, la membrana plasmática se observa que está formada por de tres capas porque la porción lipídica central (electrolúcida) está demarcada por las capas interna y externa de naturaleza proteica (electrodensas). En las formas de resistencia de muchos protozoos (quistes, ooquistes) puede existir además una membrana quística o de resistencia, que se forma por aposición de materiales citoplasmáticos a la membrana plasmática.

2.2. CITOPLASMA

Bajo la membrana plasmática se encuentra el **citoplasma** constituido por dos partes: una, contenida dentro del sistema de endomembranas: núcleo, retículo endoplásmico y complejo de Golgi, y otra, la sustancia exterior al sistema de membranas, o citosol, que es un líquido con alto contenido en proteínas y enzimas y con características propias de un coloide responsables de las variaciones de viscosidad, movimiento intracelular, movimiento ameboide. En esta matriz citoplasmática se localizan los elementos estructurales: citoesqueleto y orgánulos de membrana.

2.1.1. Citoesqueleto y orgánulos de membrana

El citoesqueleto está constituido por microtúbulos, microfibrillas y microtrabéculas que forman un armazón en el que se sostienen las proteínas estructurales, enzimas y ribosomas.

Los orgánulos de membrana son estructuras más o menos permanentes, de origen diverso y con funciones definidas, que se encuentran formados por membranas (de ahí su nombre). Son las

siguientes:

A. Mitocondrias: Son orgánulos presentes en todos los protozoos aerobios que proporcionan la energía para las actividades biosintéticas y motoras de los protozoos. En su interior presentan crestas cuyo número, y por tanto su superficie, varía según las necesidades fisiológicas del protozoo.

De los protozoos de importancia parasitaria, los microsporidios, los diplomonádidos y *Entamoeba histolytica*, entre otros, carecen de mitocondrias. Los kinetoplástidos y apicomplejos solamente presentan una mitocondria. En los primeros, el ADN mitocondrial se concentra en una región subterminal y muy desarrollada, próxima a la base del flagelo, denominada kinetoplasto (da nombre al orden Kinetoplástida).

B. Lisosomas. Son depósitos que contienen enzimas hidrolíticas elaboradas por los ribosomas del retículo endoplásmico que se utilizan para la digestión intra o extracelular. Presentan un polimorfismo considerable:

- Lisosomas primarios o gránulos de almacenamiento.
- Lisosomas secundarios, fagolisosomas o vacuolas digestivas, que resultan de la asociación de los lisosomas primarios que contienen material fagocitado. En el interior de ellos el material es progresivamente digerido por las enzimas que contienen. Si el material procede del exterior, se habla de heterofagosoma; si pertenece a la propia célula, citolisosoma, o autofagosoma.
- Cuando la digestión es incompleta, se forman cuerpos residuales que se excretan.

C. Vacuolas. Son vesículas que pueden ser permanentes (como las contráctiles o pulsátiles con función osmorreguladora) o bien formarse en un momento determinado. Dentro de estas últimas se encuentran las vacuolas digestivas, que se originan por invaginación y posterior estrangulación a nivel de una determinada porción de la membrana plasmática. Convencionalmente se dividen en vacuolas digestivas fagocíticas, que incluyen partículas alimentarias grandes, y en pinocíticas, cuyo contenido suele estar constituido por materiales alimentarios invisibles en disolución.

Las especializadas en eliminar al medio los productos de desecho se denominan vacuolas de excreción.

2.2.2. Sistemas de endomembranas

Ocupan el citoplasma fundamental, dividiéndolo en numerosos compartimentos y secciones. Los principales componentes son la envoltura nuclear, el retículo endoplásmico y el complejo de Golgi.

A. Envoltura nuclear. Está formada por dos membranas concéntricas separadas por un espacio perinuclear. Por medio de ella se controla el paso de iones y macromoléculas de manera muy selectiva entre el núcleo y el citoplasma.

B. Retículo endoplasmático. Está más o menos desarrollado en función de las necesidades fisiológicas que tenga el hospedador. Hay retículo endoplásmico rugoso y liso. Su función principal es la síntesis de proteínas, aunque también está asociado a la síntesis de lípidos y lipoproteínas.

C. El Complejo de Golgi. Es una porción diferenciada del sistema de

endomembranas. Está espacial y temporalmente relacionado con el retículo endoplásmico por un lado, y con la membrana plasmática, por medio de vesículas secretoras, por otro. Su función principal es la secreción de las proteínas y las enzimas contenidas en los lisosomas y peroxisomas. Está muy desarrollado en los Tricomonádidos, constituyendo lo que se conoce como aparato parabasal. En los Apicomplejos, es el responsable de la formación de estructuras de penetración en la célula hospedadora, como son las roprias y los micronemas.

2.3. NÚCLEO

En las células eucariotas, el núcleo, y por tanto el ADN que contiene los genes, está separado del citoplasma por la envoltura nuclear. En su interior puede presentar uno o varios **nucléolos** con un alto contenido en ARN y proteínas.

Clásicamente, los núcleos se dividen en varios tipos morfológicos según su aspecto:

- Compactos: son aquellos núcleos carentes de nucléolos, como es el caso del macronúcleo de los ciliados, o el núcleo de los microgametos de los apicomplejos.
- Vesiculosos: se caracterizan por la presencia de uno o varios nucléolos, no se tiñen homogéneamente y pueden ser a su vez de dos tipos:
 - Tipo I : son núcleos con cariosoma rico en ARN y por tanto Feulgen (-) y gránulos Feulgen (+) adosados a la cara interna de la pared nuclear.
 - Tipo II: presentan endosomas (Feulgen +) que se hallan distribuidos por todo el espacio nuclear.

2.1.4. OTRAS ESTRUCTURAS CELULARES

A) Ribosomas

Son partículas esféricas compuestas de dos subunidades y constituidas por ARNr (ribosómico) y proteínas. Son el sustrato físico de la síntesis proteica y pueden hallarse asociadas al retículo endoplásmico rugoso o sueltas en forma de polirribosomas, por ejemplo, en *Entamoeba histolytica*.

B) Centrosoma

Es un orgánulo asociado al movimiento, respuesta rápida a los estímulos y división nuclear. Al microscopio electrónico están constituidos por dos unidades (centriolos, en la microscopía de luz visible) cilíndricas, o hemicentrosomas, dispuestas en ángulo recto, y formadas por nueve tripletes de microtúbulos.

El centrosoma juega un papel importante en la organización del núcleo durante la mitosis, así como en las funciones que se derivan de estructuras tales como flagelos, cilios, costa, pelta y orgánulos receptores ambientales.

C) Flagelo (cilio)

Es el orgánulo básico responsable del movimiento. Está compuesto por una estructura microtubular (axonema) formada por nueve pares de microtúbulos periféricos y un par central. Todos los componentes del axonema se hallan dentro de una matriz que está

delimitada externamente por una membrana flagelar, continuación de la plasmática.

El axonema se origina a partir de un cuerpo basal, cinetosoma o blefaroplasto. A partir de la base del cinetosoma surgen, en algunas especies, finas raicillas que originarán diversas formaciones tales como costas, funículos, filamentos parabasales, etc.

Los cilios son como pequeños flagelos que parten cada uno de un cinetosoma. De la raíz de cada cinetosoma parte lateralmente un filamento, cinetodesmo, que se une al del cilio siguiente mediante cinetodesmosis, para asegurar el movimiento coordinado de los cilios.

Los cilios, aparte de su papel en el desplazamiento del protozoo, también han de tenerse en cuenta como estructuras capaces de atraer los alimentos al área citostómica (boca).

3. FISILOGIA DE LOS PROTOZOOS

3.1. LOCOMOCIÓN

El movimiento en los protozoos puede producirse por tres mecanismos: por pseudópodos, por cilios o flagelos y por arrastre o Gliding.

A) Pseudópodos. Son estructuras temporales capaces de arrastrar el cuerpo del protozoo en una determinada dirección, así como englobar sustancias para la fagocitosis. Es el tipo más simple de locomoción, propio de los Sarcodinos.

Atendiendo a su morfología los pseudópodos pueden ser (Fig.

1):

- Lobópodos: son pseudópodos anchos, gruesos, redondeados y no muy grandes que se presentan en número escaso; son propios de las amebas.
- Filópodos: largos, filiformes y numerosos.
- Rizópodos: son finos, ramificados y anastomosados, y en ellos destaca una porción interna reticular y una externa más fluida por la que circulan gránulos.
- Axópodos: se disponen radialmente, y son más o menos rígidos, largos y sin ramificar.

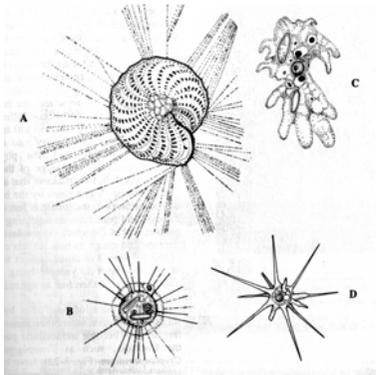


Fig.1. Tipos de pseudópodos: A) Rizópodo; B) Axópodo; C) Lobópodo; D) Filópodo

B) Cilios o flagelos. El desplazamiento se produce gracias al movimiento de estas estructuras y las membranas ondulantes asociadas. Su morfología fue descrita anteriormente.

C) Arrastre o Gliding. Es el tipo de locomoción más frecuente entre

los protozoos. Se realiza mediante contracciones y extensiones del cuerpo del protozoo en presencia de un determinado sustrato a manera de un acordeón. En él participan una serie de microtúbulos subpeliculares que producen volteo, deslizamiento o doblamiento. Es el movimiento típico de los Apicomplexa.

3.2. NUTRICIÓN

Los protozoos parásitos son heterótrofos, es decir, el material que precisan lo obtienen del medio en el que viven. Desarrollan una nutrición holozoica mediante ingestión de sustancias de otros organismos o de ellos mismos. La incorporación de sustancias puede hacerse mediante estructuras temporales o permanentes semejantes a una boca, o a través de la membrana plasmática. En este último caso se denomina nutrición saprozoica.

La nutrición saprozoica puede producirse por difusión directa o simple difusión, cuando lo permite el gradiente de sustancias en disolución que se encuentran en el exterior de la célula, por difusión auxiliar, gracias a proteínas globulares intercaladas en la bicapa lipídica, que fijan los nutrientes y los introducen en el citoplasma, o por transporte activo, mediante un proceso enzimático que conlleva un gasto energético.

La ingestión de partículas sólidas se realiza mediante fagocitosis, en cualquier parte de la superficie del cuerpo, como ocurre en las amebas, o en una región o área determinada denominada citostoma. Las sustancias no absorbibles o no digeridas se eliminan al exterior por cualquier punto de la superficie corporal, mediante una abertura temporal, o por un área de excreción concreta llamada citopigio.

Cuando la sustancia ingerida es líquida, el proceso es una fagocitosis particular llamada pinocitosis.

3.3. REPRODUCCION

En los protozoos pueden existir tres tipos, asexual, sexual y alternante (combinación de las otras dos).

A) Asexual: puede ser a su vez de tres tipos:

A.1. Fisión binaria o simple. Una célula se divide dando dos células hijas. Según el plano de división, puede ser:

- Al azar, cuando el protozoo no es simétrico (amebas)
- Simetrogónica, si se sigue un plano longitudinal. Ésta, a su vez, puede ser simple o por fisipartición, o múltiple, originando figuras en roseta (flagelados)
- Homotetogénica, si el plano de división es transversal (ciliados). Un individuo hijo se forma a partir de la porción anterior, el otro, de la inferior.

A.2. Gemación. A partir de la célula madre se forma una yema a la que emigra el núcleo hijo. Puede ser:

- Exógena: cuando las yemas a donde migran los núcleos hijos se forman en el exterior de la célula madre. Esta, a su vez, puede ser simple o múltiple, por ejemplo, la esquizogonia de los apicomplejos.

- Endógena: típica de los coccidios con fases tisulares. Cuenta con dos modalidades:

- Endodiogenia: Cada célula (zoíto) que se divide produce dos células en el interior de la membrana citoplasmática de la célula madre. Ej: la formación de bradizoítos de coccidios con fases tisulares
- Endopoligenia: Cada zoíto da lugar simultáneamente a varios zoítos. Ej: la formación de los taquizoítos.

A.3. Esporulación.

Es un fenómeno mixto de resistencia y multiplicación.

La esporogonia simple sucede en diplomonádidos y amebas. El ooquiste, al madurar y hacerse infectante, divide su núcleo. De él emergen dos o varios trofozoítos fundadores.

La esporogonia típica se produce después de la reproducción sexual. Tiene varias modalidades, entre las que cabe destacar la de los coccidios (apicomplejos), en la que el proceso se realiza en el medio. El cigoto se convierte en un elemento de resistencia, ooquiste, el cual divide su esporonte en esporoblastos, cada uno de los cuales se organiza como una espora, esporocisto, y por división forma en su interior los esporozoítos infectantes.

B) Reproducción Sexual

Con excepción de los ciliados, la reproducción sexual es anfimítica, es decir, mediante la unión de gametos haploides, o pronúcleos de fecundación, procedentes de individuos separados.

Existen dos modalidades básicas: una, la de los ciliados, la

conjugación; la otra, la del resto de los protozoos: la singamia.

La **singamia** es la fusión de gametos, es decir, células segregadas como gametos que se fusionan entre sí. En los protozoos, al no haber separación entre lo somático y lo germinal, en un momento dado todo el organismo se transforma en gamonte, originando un gameto femenino o varios gametos masculinos.

Cuando los gametos son aparentemente iguales, el proceso se llama **isogamia**. Si los gametos son diferentes, el proceso se conoce como **anisogamia**. En esta última, convencionalmente, se llama **microgameto** al más pequeño y móvil, muchas veces flagelado y, **macrogameto** al más grande, con reservas en su citoplasma y que permanece inmóvil.

Conjugación: Los organismos se aparean e intercambian material nuclear, después, los individuos se separan y tiene lugar la reorganización nuclear. No hay por tanto fusión de células como en la singamia sino sólo de núcleos.

4. BIOLOGÍA Y CICLOS EVOLUTIVOS

De acuerdo con el modelo de reproducción sexual, el ciclo biológico de los protozoos puede ser diplofásico, puesto que al producirse la fecundación inmediatamente después de la meiosis, los individuos resultantes son $2n$ -cromosómicos durante el resto de su existencia, incluidas las multiplicaciones asexuales (ciliados, por ejemplo). Son haplofásicos, o con ciclo haplonte, cuando entre la meiosis, producida en la esporulación, o esporozoitogénesis, y la fecundación, pasa la mayor parte de vida del individuo, con las correspondientes multiplicaciones asexuales –merogonias- intermedias (aplicomplejos esporozoos). Existen otros protozoos, básicamente de

vida libre, en los que los ciclos son mixtos, haplodiplofásicos, con alternancia de fases haplontes y diplontes de larga duración (foraminíferos).

5. CLASIFICACIÓN

La clasificación clásica, siguiendo a Levine y colaboradores (1980), reducida a los grupos de interés es la siguiente:

Reino Protista

Subreino Protozoa

Phylum Sarcomastigophora

Subphylum Mastigophora

Clase Zoomastigophora

Orden Kinetoplastida

Orden Retortamonadida

Orden Diplomonadida

Orden Trichomonadida

Subphylum Opalinata

Subphylum Sarcodina

Orden Amoebida

Phylum Apicomplexa

Clase Sporozoea

Subclase Coccidia

Orden Eucoccidiida

Suborden Eimeriina

Suborden Haemosporina

Subclase Piroplasmida

Phylum Microspora

Phylum Mixozoa

Phylum Ciliophora

Orden Trichostomatida