

MÁS QUE UN ESQUELETO: EL CITOESQUELETO SE ENSAMBLA Y DESENSAMBLA COMO BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN A NIVEL CELULAR

MORE THAN A SKELETON: THE CYTOSKELETON ASSEMBLES AND DISASSEMBLES LIKE BUILDING BLOCKS AT THE CELLULAR LEVEL

por ELIZABETH ORTEGA SOTO¹, MARIO CHOPIN DOROTEO²

¹LABORATORIO DE VIROLOGÍA, ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS, INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL. MÉXICO

²LABORATORIO DE TEJIDO CONJUNTIVO, CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y ATENCIÓN DE QUEMADOS, INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN "LUIS GUILLERMO IBARRA IBARRA". MÉXICO.

CHOPIN.MARIO@YAHOO.COM.MX

Palabras clave: Actina, microtúbulos, filamentos intermedios.

Keywords: Actin, microtubules, intermediate filaments.

Resumen: Las funciones, forma, y arquitectura de todo nuestro cuerpo se rigen por lo que sucede a nivel celular. A este nivel, proteínas (bloques) con la capacidad de ensamblarse y desensamblarse como piezas de construcción tipo LEGO forman el citoesqueleto, el cual está formado por filamentos de actina, intermedios, y microtúbulos que se adaptan y responden al cambio constantemente formando diversas estructuras que en conjunto le permiten a la célula mantener la forma, organizar, y transportar componentes internos (proteínas, organelos). Además, es indispensable para la realización de funciones básicas como son la división celular, la migración el anclaje a la matriz extracelular, y la comunicación celular.

Abstract: *The functions, shape, and architecture of our entire body are governed by what happens at the cellular level. At this level, proteins (building blocks) that can assemble and disassemble like LEGO-type building blocks form the cytoskeleton, which is made up of actin filaments, intermediates, and microtubules that adapt and respond to change constantly, forming various structures that together allow the cell to maintain its shape, organize, and transport internal components (proteins, organelles). In addition, it is essential for carrying out basic functions such as cell division, migration, anchoring to the extracellular matrix, and cellular communication.*

Introducción:

Sabemos que el esqueleto está formado por huesos, nos damos cuenta de su importancia y de algunas funciones relacionadas al soporte y movilidad cuando se sufre alguna fractura y/o se padece alguna enfermedad que afecte a los huesos. A nivel celular, las funciones de soporte, movimiento, migración, división y transporte de moléculas dentro de las células están asociadas al citoesqueleto, el cual está formado por proteínas que tienen la capacidad de ensamblarse y desensamblarse de manera organizada como si fueran bloques de construcción tipo LEGO (Fletcher y Mullins, 2010). El citoesqueleto es un elemento clave en la adaptación y respuesta a las condiciones ambienta-

les a las que son expuestas las células continuamente dentro del cuerpo. Para estudiar cómo funcionan las células, con frecuencia estas son aisladas del cuerpo y crecen en condiciones de laboratorio (Ortega-Soto y Chopin-Doroteo, 2023).

Conociendo el citoesqueleto:

El citoesqueleto está compuesto por proteínas que, en forma de analogía, funcionan como bloques de construcción, es decir, tienen la capacidad de ensamblarse (polimerizarse) y desensamblarse formando diversas estructuras. Estas proteínas se agrupan en tres principales tipos de filamentos (proteínas ensambladas) conocidos como filamentos de actina, microtúbulos y filamentos intermedios (figura 1).

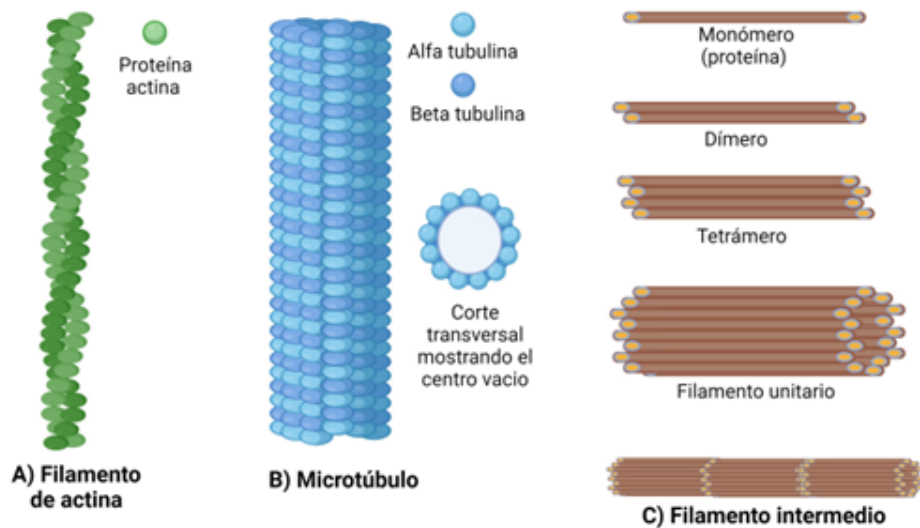


Figura 1. Esquema de los filamentos del citoesqueleto. A) Filamentos de actina formando estructuras en forma de hélice a partir de la proteína (bloque) actina. B) Microtúbulo formado por alfa y beta tubulina. C) Filamentos intermedios formados a partir de proteínas que se asocian a lo largo de su eje y la adición de filamentos unitarios en los extremos. Creado con BioRender. Krötzsch, E. (2025). <https://BioRender.com/z8ba6hn>

Los filamentos de actina se forman por la polimerización de la proteína actina que funciona como bloques de construcción para formar cadenas largas con forma de hélice (figura 1A). Estas cadenas pueden ramificarse o formar anillos, con ayuda de otras proteínas accesorias. Estructuras anulares se han observado durante la división de algunos tipos de células, se sugiere que este anillo estrangula a la célula como si fuera un lazo facilitando su división (Miller, 2011). El ensamble de la actina puede empujar a la membrana hacia adelante formando proyecciones que podemos observar al microscopio en forma de olanes (lamelipodios) y/o pequeñas puntas (filopodios). Cuando se despolimeriza la actina se favorece que la membrana se contraiga. Así la polimerización y despolimerización coordinadas en los extremos de la célula están asociadas a su desplazamiento (Hohmann y Dehghani, 2019). Además, la actina puede entrecruzarse con otras proteínas (actinina, filamina, miosina) para formar fibras de tensión, las cuales actúan como sensores mecánicos, ya que se pueden reorganizar dependiendo de las condiciones físicas del medio (rígido, suave), y estas ayudan a que la célula no se deforme por acción de fuerzas externas (extensión, compresión) (Fletcher y Mullins, 2010). En general, el citoesqueleto de actina ayuda a mantener la forma de la célula, participa en la movilidad y desplazamiento celular, así como en el anclaje o agarre físico a la red de proteínas que se encuentran fuera de la célula y que forman la matriz extracelular (figura 2).

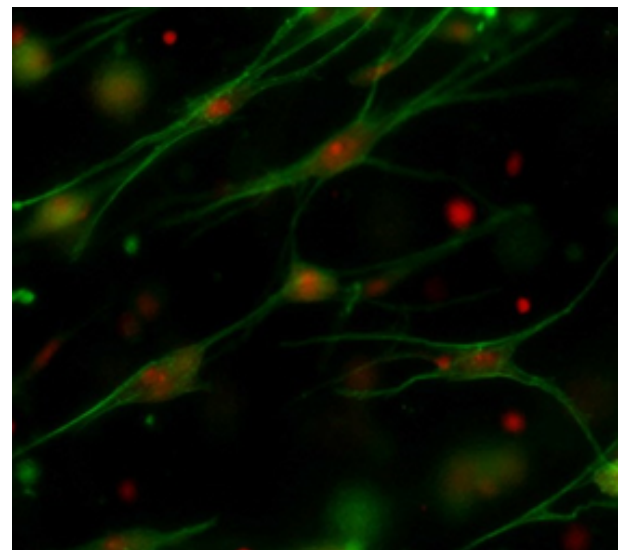


Figura 2. Células “fibroblastos” crecidas dentro de una matriz de colágeno. En verde se muestran los filamentos de actina teñidos con faloidina y en rojo el núcleo teñido con yoduro de propidio.

Los microtúbulos son estructuras tubulares huecas, formadas por el ensamble de las proteínas alfa y beta tubulina (figura 1B). El ensamble se realiza en los centros organizadores de microtúbulos localizados cerca del núcleo celular y de ahí crecen hacia la periferia (Sacanelles y Garay, 2017). Los microtúbulos forman un sistema de transporte de tipo carretera por donde familias de proteínas motoras (que actúan como autos) transportan diferentes cargas (organelos, vesículas, proteínas). Existen distintas proteínas motoras que llevan direcciones y velocidades específicas,

por ejemplo, la familia de quinesinas transporta del centro de la célula a la periferia, mientras que la familia de dineínas transporta de la periferia al centro. Se ha observado que, en condiciones experimentales se pueden presentar problemas de tránsito con zonas de baja velocidad con muchas proteínas motoras y zonas con pocas proteínas motoras y alta velocidad, con cambios abruptos en zonas de transición (Ross, 2012). Durante la división celular los microtúbulos forman estructuras semirrectas a lo largo de la célula llamados ejes mitóticos que ayudan a dirigir y separar a los cromosomas (Fletcher y Mullins, 2010). Además, los microtúbulos participan en la formación de flagelos y cilios. Los flagelos son estructuras en forma de látigo cuyo movimiento ayuda al desplazamiento de células como los espermatozoides, mientras que los cilios son estructuras cortas que generan movimiento ondulatorio para mover líquidos y moléculas (polvo) en células del aparato respiratorio (Sacanelles y Garay, 2017).

Los filamentos intermedios son muy variados, a diferencia de los filamentos de actina y microtúbulos, están formados por diversas proteínas y cada tipo de célula presentan filamentos intermedios específicos, es importante resaltar que las células pueden presentar al mismo tiempo más de un tipo de filamento intermedio. Algunos ejemplos de estos filamentos son las queratinas (presente en cabello, uñas y piel), desmina (presente en células musculares) y neurofilamentos (presente en neuronas). Las proteínas que forman estos filamentos se enrollan a lo largo formando dímeros (dos proteínas enrolladas), los cuales se asocian con otros dímeros hasta formar un filamento unitario. La agregación de filamentos unitarios en los extremos forma los filamentos intermedios (figura 1C) (Hohmann y Dehghani, 2019), los cuales se comportan a nivel celular como cables o sogas flexibles y resistentes que ayudan a la célula a soportar fuerzas de tensión (estiramiento). Los filamentos forman redes interconectadas que rodean el núcleo celular y se distribuyen por todo el citoplasma. Estas redes de filamentos pueden modificar la viscosidad del citoplasma, ayudan a organizar de manera espacial componentes internos como son vesículas (sacos que contienen moléculas), mitocondrias (organelos donde se genera energía), y el aparato Golgi (complejo de membranas necesarios en la fabricación y empaquetamiento de proteínas). Además, ayudan a estabilizar los sitios de unión entre células y de la célula con su matriz extracelular. Estas asociaciones proporcionan la fuerza tensil que evita que los tejidos se rompan (Ndiaye y col., 2022).

Conclusiones:

El citoesqueleto tiene algunas similitudes con los bloques de construcción diseñados para construir diferentes estructuras a partir de piezas clave (proteínas). Estas piezas se pueden reciclar para formar nuevas estructuras dependiendo de las necesidades de la célula. En conjunto el citoesqueleto realiza funciones esenciales para mantener la vida celular, que incluyen dar forma, y volumen a la célula, permite organizar internamente los componentes celulares (núcleo, mitocondrias, vesículas, etc), participa en la conexión física entre células, y en la comunicación de las células con el medio externo. Además, ayuda a generar las fuerzas necesarias para el movimiento, desplazamiento, y división de las células.

Bibliografía:

- Fletcher, D. A., & Mullins, R. D. (2010). Cell mechanics and the cytoskeleton. *Nature*, 463(7280), 485-492. <https://doi.org/10.1038/nature08908>
- Hohmann, T., & Dehghani, F. (2019). The cytoskeleton a complex interacting meshwork. *Cells*, 8(4), 362. <https://doi.org/10.3390/cells8040362>
- Miller A. L. (2011). The contractile ring. *Current biology*. 21(24), R976-R978. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.10.044>
- Ndiaye, A. B., Koenderink, G. H., & Shemesh, M. (2022). Intermediate filaments in cellular mechanoresponsiveness: mediating cytoskeletal cross-talk from membrane to nucleus and back. *Frontiers in cell and developmental biology*, 10, 882037. <https://doi.org/10.3389/fcell.2022.882037>
- Ortega-Soto, E & Chopin-Doroteo, M. (2023). Cell cultures: a laboratory tool for studying viruses. *Front. Young Minds*. 11:943570. <https://doi.org/10.3389/frym.2023.943570>
- Ross J. L. (2012). The impacts of molecular motor traffic jams. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(16), 5911-5912. <https://doi.org/10.1073/pnas.1203542109>
- Sacanelles, R. S., & Garay, J. S. A. (2017). El citoesqueleto: un componente fundamental en la arquitectura y en la fisiología celular. *Revista de Educación Bioquímica*, 35(4), 102-114. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revedubio/reb-2016/reb164c.pdf>