



## Epistemología de la Imaginación Aplicada a la Biología Celular: Un Mundo Intangible Que Se Revela

Soto Zárate C.I.<sup>a</sup>, García Tovar C.G.<sup>a</sup>, Oliver González M.R.<sup>a</sup>, Garrido Fariña G.I.<sup>a</sup> y Rodríguez Salazar L.M.<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Ciencias Biológicas, FES-Cuautitlán, UNAM, Estado de México, 54740

<sup>b</sup>Instituto Politécnico Nacional, CIECAS. Ciudad de México, 11360

### ARTICLE INFO

**Received:** 22 August 2022

**Accepted:** 30 October 2022

**Available on-line:** 30 November 2022

**Keywords:** Biología celular, enseñanza aprendizaje, abstracción, cognición, epistemología de la imaginación,

**E-mail addresses:**

csoto2020@cuautitlan.unam.mx

cgarciatov@cuautitlan.unam.mx

gonolmi7@cuautitlan.unam.mx

isaurogafa@yahoo.com.mx

luismauriciors@gmail.com

ISSN 2007-9847

© 2022 Institute of Science Education.

All rights reserved

### ABSTRACT

To successfully address the study of the cell (anatomical, physiological, and genetic unit of all living beings), its structure, function, and interactions with the environment and with other cells must be considered, for which knowledge of chemistry, biochemistry, and cytology, among others, is required. The degree of abstraction required to understand all these elements, makes of the teaching of cell biology, a process with a high degree of conceptual difficulty; on the part of the teacher for its transmission, as well as for the understanding of the concepts involved by the student. In order, to improve this teaching-learning process teacher-student, we implemented a series of practices in which the experimental techniques of cell biology are carried out, which according to the epistemology of the imagination (proposal of Rodríguez-Salazar LM) seek to encourage the proactive participation of students. Since cell biology is located in the realm of the non-visible, the epistemology of imagination highlights the role of imaginary configurations generated in thought to know and understand the way in which the evidences has been obtained (experimental methods) and how they are used to construct and structure a model which, finally, will allow the generation of knowledge. From our proposal, the course should not seek the simple transmission of abstract concepts but promote an environment of imaginative collaboration within the classroom, which encourages students to develop processes of imaginary configuration of non-visible realities, understood as the generation of mental images from abstract concepts and processes that we hope favor the learning of cell biology.

Para abordar exitosamente el estudio de la célula (unidad anatómica, fisiológica y genética de todos los seres vivos), se deben considerar su estructura, función e interacciones con el medio y con otras células, para lo cual se requieren conocimientos de química, bioquímica y citología, entre otros. El grado de abstracción requerido para comprender todos estos elementos, convierte a la enseñanza de la Biología Celular, en un proceso con un alto grado de dificultad conceptual; por parte del docente para su transmisión, así como para la comprensión de los conceptos involucrados por parte del discente. Con el fin de mejorar este proceso de enseñanza-aprendizaje docente-discente, implementamos una serie de prácticas en las que se realizan las técnicas experimentales propias de la biología celular, que de acuerdo con la epistemología de la imaginación (propuesta de Rodríguez-Salazar) buscan fomentar la participación proactiva de los alumnos. Toda vez que la biología celular se ubica en el terreno de lo no visible, la epistemología de la imaginación resalta el papel de las configuraciones imaginarias generadas en el pensamiento para conocer y comprender la manera en que se han obtenido las evidencias (métodos experimentales) y la forma como se utilizan para construir y estructurar modelos que, finalmente, permiten la generación de conocimiento. Desde nuestra propuesta, el curso no debe buscar la simple transmisión de conceptos abstractos sino propiciar un ambiente de colaboración imaginativa dentro del salón de clases, que impulse en los alumnos el desarrollo de procesos de configuración imaginaria de realidades no visibles, entendida como la generación de imágenes mentales a partir de conceptos y procesos abstractos que esperamos favorecerán el aprendizaje de la biología celular.

## I. INTRODUCCIÓN

La Biología Celular estudia las células desde una perspectiva integradora, esto es, considerando aspectos morfológicos, bioquímicos, genéticos y funcionales. Así, en la génesis de esta ciencia, han confluído a lo largo de la historia otras muchas disciplinas, cada una con su propia metodología de investigación y aproximación al estudio celular, que han contribuido a nuestro conocimiento actual de la célula (Calvo A, 2015).

La asignatura de biología celular es muy importante dentro del plan de estudios de la carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia que se imparte en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM (México), ya que los temas revisados le brindan al alumno un conjunto de conceptos que le permitirán, en semestres subsecuentes, abordar y comprender procesos y conceptos contenidos en otras asignaturas del área médica como son; genética, inmunología, farmacología, patología, etc. (Plan de estudios MVZ, 2007).

La mayoría de los conceptos abordados en biología celular hacen referencia a estructuras y procesos que no se pueden observar a simple vista, e incluso con el uso de instrumentos, por lo que deben ser deducidos a partir de evidencias indirectas (tinciones, coloraciones, bandas, etc.), situación que suele afectar negativamente y, en primer lugar, el interés de los alumnos. Adicionalmente, está el hecho de que la mayoría de los procesos celulares son sumamente complejos ya que intervienen múltiples moléculas (enzimas, receptores, ligandos<sup>1</sup>, etc.) que suelen actuar en diversas situaciones bajo la influencia de múltiples factores (temperatura, pH, interacción con otros tipos celulares o microorganismos, inanición, etc.) que suelen incidir en el desarrollo y producto final de dichos procesos.

Nuestra respuesta a esta problemática, a través de los años, ha sido el diseño de un conjunto de prácticas donde buscamos; propiciar una actitud proactiva basada en la curiosidad, brindar un breve panorama del proceso subyacente a la construcción del conocimiento e inducir la adquisición de un pensamiento crítico basado en el razonamiento a partir de evidencias. El resultado obtenido ha sido contradictorio pues en lugar de despertar el interés e incrementar la curiosidad y motivación de los alumnos, en muchos de ellos se genera desinterés y apatía. Por todo lo anterior, el impacto de las sesiones prácticas en el curso de biología celular no ha sido el esperado.

En biología, al estudiar aquello que es visible a simple vista (por ejemplo; intestino) y pasar a un nivel microscópico (como los tejidos que lo forman, lo que ya no es visible a simple vista y requiere el uso de instrumentos) para estudiar su estructura, resulta muy importante entender los pasos metodológicos aplicados (fijación, orientación al corte, tinciones, etc.) antes de obtener el resultado final (laminilla histológica). Así mismo, resulta fundamental conocer el funcionamiento del microscopio para, al fin, entender cabalmente las estructuras observadas (Oliver González y col., 2017).

Esto es lo que plantea la propuesta de la epistemología de la imaginación, cuando señala que antes de realizar cualquier metodología o experimento es necesario tener una representación mental previa que se señala como la configuración imaginaria de esa realidad (Oliver González y col., 2017). En la configuración de esa realidad y la elección de la metodología a emplear, juegan un papel fundamental, el conocimiento y la experiencia del personal involucrado (investigador, técnico, etc.).

Ahora, para pasar exitosamente del nivel tisular al celular, entramos a lo que en este trabajo se plantea como el dominio de lo no visible ni con el uso de instrumentos, por lo que se requiere de un mayor conocimiento y comprensión de los actores (biomoléculas) y de los procesos involucrados (reacciones bioquímicas y fisicoquímicas; hidrólisis, fosforilación, interacciones ligando-receptor, etc.) ya que existe un mayor grado de abstracción en la relación entre estructura y función de la célula, como lo planteamos en un trabajo previo (Soto-Zárate y cols., 2017).

De esta manera, la epistemología de la imaginación resalta el papel de las configuraciones imaginarias generadas en el pensamiento de los investigadores (basadas en sus conocimientos y experiencia), para elaborar diseños experimentales y utilizar los modelos adecuados para llevar a cabo la materialización de acciones evocadas en su imaginación y obtener las representaciones de la estructura, ultraestructura y mecanismos moleculares de la célula,

---

<sup>1</sup> Cualquier molécula que se une a un sitio específico de una proteína o cualquier otra molécula. Del latín *ligare*, unir (Alberts et al., 2015).

generando así, los modelos que permitirán su representación y posibilitarán la adquisición de este conocimiento (Oliver González y col., 2017).

Para la cabal comprensión de los conocimientos revisados en la asignatura de biología celular, es necesario conocer la manera (métodos experimentales) en que son construidos y estructurados (modelado) estos hallazgos para lograr el planteamiento de conocimientos que poco a poco serán aceptados, y no sólo en la mera transmisión de los conceptos abstractos que la conforman (Oliver González y col., 2017). Para lograrlo, se requiere de un alto grado de abstracción, toda vez que a este nivel las representaciones de la estructura, ultraestructura y mecanismos moleculares de la célula ya no son representaciones de la realidad, sino una realidad representada por medio de modelos de su funcionamiento.

El proceso de enseñanza - aprendizaje de este tipo de conocimiento, se hace complejo, en primer lugar, para el docente, que, al no tener experiencia en investigación, ni saber cómo se obtuvo dicho conocimiento, le resultan difíciles de comprender los conceptos y modelos revisados. Para el alumno, es complicado por el tipo de información manejada, ya que se trata de procesos que no pueden ser observados a simple vista por lo que tienen que ser deducidos a partir de evidencias indirectas. Para facilitar la comprensión de los conocimientos revisados, es necesaria la toma de conciencia de la manera en que son construidos y no en la mera transmisión de los conceptos abstractos que la conforman.

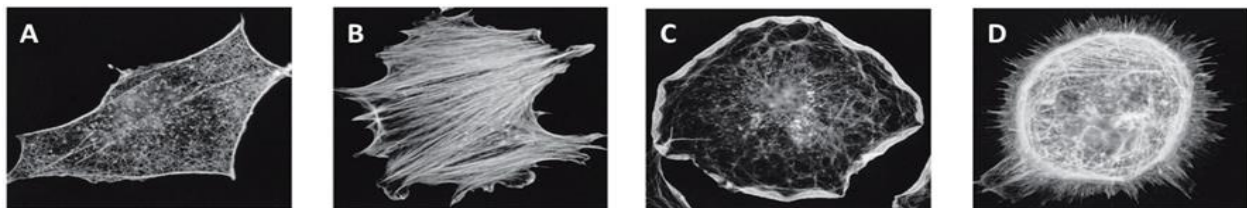
El citoesqueleto es uno de los componentes más dinámicos de las células eucariotas, con el propósito de hacer explícita esta propuesta, tomamos como caso de estudio: el citoesqueleto de actina.

## II. EL CITOESQUELETO DE LAS CÉLULAS EUKARIOTES

El citoesqueleto consiste de una red de filamentos de proteína que se extiende por el citoplasma de todas las células eucariotas, el cual proporciona un armazón estructural para la célula, actuando como un andamio que determina la forma celular y la organización general del citoplasma, también es responsable de los movimientos de la célula. Estos no solamente incluyen los movimientos de la célula en conjunto, sino también el transporte interno de los organelos y de otras estructuras (tales como los cromosomas mitóticos) a través del citoplasma. Es una estructura dinámica que se reorganiza continuamente según las células se mueven y cambian su forma. El citoesqueleto está constituido por tres tipos de filamentos de proteína: filamentos de actina, filamentos intermedios y microtúbulos, que se mantienen juntos y unidos a los organelos intracelulares y a la membrana plasmática mediante diversas proteínas accesorias (Cooper, 2018).

Esta definición conceptual del citoesqueleto puede resultar contradictoria cuando se hace que el alumno reflexione sobre algunos hechos; ¿cómo es posible que una célula pueda cambiar su forma de una manera tan dramática? (figura 1 A, B, C, D) o bien moverse de una manera tan rápida (figura 2), detrás de lo cual está la desestructuración-reestructuración del citoesqueleto en general y de la actina en particular. Decimos que es contradictoria toda vez que en su definición aparecen las palabras; red, armazón, andamio, etc., las cuales generan una asociación automática con una estructura rígida cuando en realidad el citoesqueleto suele ser sumamente flexible y dinámico (Figuras 1 y 2).

**FIGURA 1.** Efecto de la microinyección de proteínas de la familia Rho sobre la organización de actina en un cultivo de fibroblastos.



En todos los casos, los filamentos de actina están marcados con faloidina rodamina. A. Cultivo de fibroblastos quiescentes, que muestran la corteza celular y pocas fibras de tensión. B. Microinyección de Rho que provoca el rápido ensamble de muchas fibras de tensión. C. microinyección de Rac que causa la formación de un enorme lamelipodio que abarca la totalidad de la circunferencia de la célula. D. microinyección de Cdc42 que causa la protrusión de gran cantidad de filopodios. (Tomada de Alberts y cols, 2015).

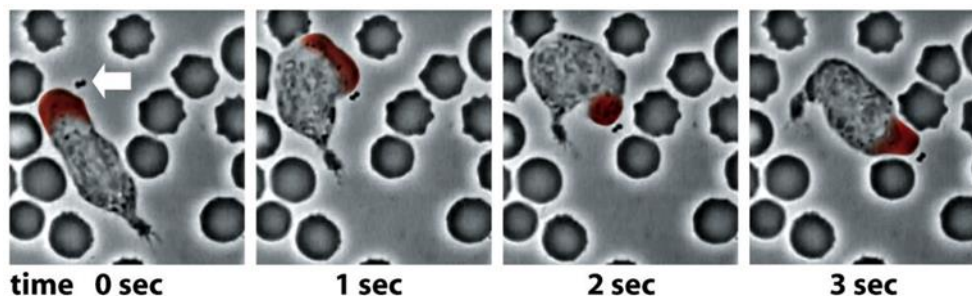


FIGURA 2. Un neutrófilo a la caza de una bacteria.

En esta preparación de sangre humana, un grupo de bacterias (flecha blanca) están a punto de ser capturadas por un neutrófilo. Conforme las bacterias se mueven, el neutrófilo rápidamente reensambla la densa red de actina en su borde líder (resaltado en rojo) para dirigirse hacia las bacterias. El desensamble y reensamble del citoesqueleto de actina en estas células les permite cambiar rápidamente su orientación y la dirección de su movimiento. (Tomada de Alberts y cols, 2015).

### III. ACTINA: DESCUBRIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN

La actina fue observada experimentalmente por primera vez en 1887 por Halliburton, quien extrajo una proteína muscular que coagulaba preparaciones de miosina, denominándola «fermento de la miosina» (Halliburton WD, 1887). No obstante, Halliburton fue incapaz de efectuar la caracterización de sus observaciones, y por ello el descubrimiento se atribuye a Brúnó F. Straub, entonces un joven bioquímico que trabajaba en el laboratorio de Albert Szent-Györgyi en el Instituto de química médica de la Universidad de Szeged, en Hungría.

En 1942, Straub desarrolló una nueva técnica para la extracción de proteínas musculares que le permitía aislar cantidades sustanciales de actina relativamente pura. Este método es el mismo que se sigue utilizando actualmente. Szent-Györgyi había descrito previamente una forma más viscosa de miosina, producida por extracciones lentas en músculo, como «miosina activada» y puesto que la proteína de Straub producía el efecto activador, la denominó actina. La viscosidad disminuía si se añadía ATP a la mezcla de ambas proteínas, conocida como actomiosina. El trabajo de ambos no pudo ser publicado en los países occidentales debido al ambiente bélico de la Segunda Guerra Mundial, saliendo a la luz en 1945 cuando fue publicado como suplemento de *Acta Physiologica Scandinavica* (Szent-Gyorgyi, 1945). Straub continuó trabajando en la actina hasta 1950, publicando que podía unirse al ATP y que, durante la polimerización de la proteína para formar microfilamentos, se hidrolizaba a ADP + Pi, el cual permanecía unido al microfilamento. Straub sugirió que esta reacción desempeñaba un papel en la contracción muscular, pero esto solo es cierto en el caso del músculo liso y no fue verificado experimentalmente hasta 2001 (Straub FB y Feuer G, 1989).

La secuencia de aminoácidos de actina fue completada por Elzinga, M. et al. (1973), y la estructura cristalográfica de la actina G fue determinada hasta 1990 por Kabsch, aunque se trataba de un co-cristal en el que formaba un complejo con la desoxirribonucleasa I (Kabsch W. et al., 1990), en el mismo año se propuso un modelo para la actina F (Holmes KC et al., 1990). Este procedimiento de cocrystalización con diferentes proteínas fue empleado repetidamente durante los siguientes años. En el año 2001 se logró cristalizar la proteína aislada junto con ADP y fue posible gracias al empleo de un conjugado de rodamina que impedía su polimerización (Otterbein RL et al., 2001).

Aunque actualmente no existe un modelo de alta resolución de la forma filamentosa, el equipo de Sawaya realizó una aproximación más exacta basándose en múltiples cristales de dímeros de actina (Sawaya MR et al., 2008). Otros enfoques, como el uso de criomicroscopía electrónica o radiación sincrotrón han permitido recientemente aumentar el nivel de resolución y comprender con mayor profundidad la naturaleza de las interacciones y los cambios conformacionales implicados en la formación del filamento de actina (Narita TS et al., 2006). La abstracción contenida en este párrafo representa un gran problema para el entendimiento no sólo de los discentes, sino también de los docentes, en virtud de dos aspectos básicos; la nomenclatura y la metodología mencionada.

#### IV. FILAMENTOS DE ACTINA

De la importancia capital de la actina da cuenta el hecho de que en el contenido proteico de una célula supone siempre un elevado porcentaje y que su secuencia está muy conservada, es decir, que ha cambiado muy poco a lo largo de la evolución (Gunning PW et al., 2015). En las células musculares, constituye el 20% de la proteína total de la célula.

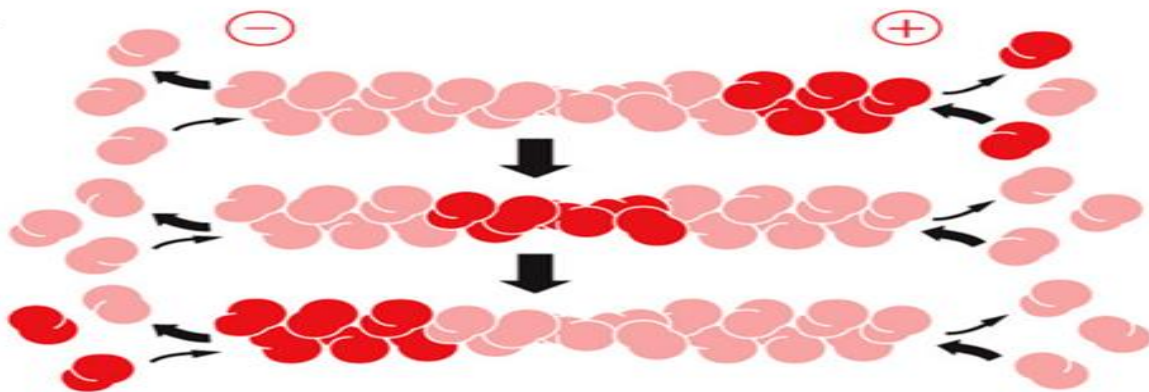
Dentro de las células, la actina se encuentra en dos formas; como monómeros independientes (actina globular o actina G) o formando filamentos (actina filamentososa o actina F). Esto es, la actina se polimeriza para formar filamentos de actina, que son: fibras delgadas y flexibles de 7 nm de diámetro y hasta varios micrómetros de longitud.

El primer paso en la polimerización de la actina (denominado nucleación) es la formación de un pequeño agregado constituido por tres monómeros de actina. Los filamentos de actina son entonces capaces de crecer por la adición reversible de monómeros a ambos extremos, pero uno de ellos (el extremo más, +) crece de cinco a diez veces más rápido que el extremo menos (-). Los monómeros de actina también unen ATP, el cual se hidroliza a ADP después de ensamblarse al filamento. Aunque el ATP no es necesario para la polimerización, los monómeros de actina que tienen unido ATP polimerizan más rápido que aquellos que tienen unido ADP.

Debido a que la polimerización de la actina es reversible, los filamentos se pueden despolimerizar por la disociación de las subunidades de actina, lo que permite que los filamentos de actina se descompongan cuando sea necesario. De esta forma, existe un equilibrio aparente entre monómeros de actina y filamentos. La velocidad a la que los monómeros de actina se incorporan a los filamentos es proporcional a su concentración, por lo que hay una concentración crítica de monómeros de actina a la cual la velocidad de polimerización es igual a la velocidad de disociación (Cooper, 2018).

Debido a que la asociación actina-ATP se disocia con menos facilidad que la actina-ADP, la concentración crítica de monómeros que es necesaria para la polimerización de los extremos será diferente. Esta diferencia puede dar lugar al fenómeno conocido como intercambio rotatorio (treadmilling, en inglés) que ilustra el comportamiento dinámico de los filamentos de actina.

Para que el sistema se encuentre en un estado de equilibrio general, la concentración de monómeros de actina libres debe ser intermedia entre las concentraciones críticas requeridas para la polimerización de los extremos más y menos de los filamentos de actina. Bajo estas condiciones existe una pérdida neta de monómeros del extremo menos que se compensa con una adición neta al extremo más. Aunque no está claro el papel del intercambio rotatorio en la célula, puede reflejar la dinámica del ensamble - desensamble de los filamentos de actina que requieren las células para moverse y cambiar de forma (Cooper, 2018).



**FIGURA 3.** El intercambio rotatorio de las moléculas de actina permite entender la dinámica involucrada en la reestructuración del citoesqueleto.

En este estado de equilibrio, las subunidades desarrollan un ensamble neto en el extremo más y un desensamble neto en el extremo menos a una tasa idéntica. Así, el polímero mantiene una longitud constante, aunque hay un flujo neto de subunidades a través de él.

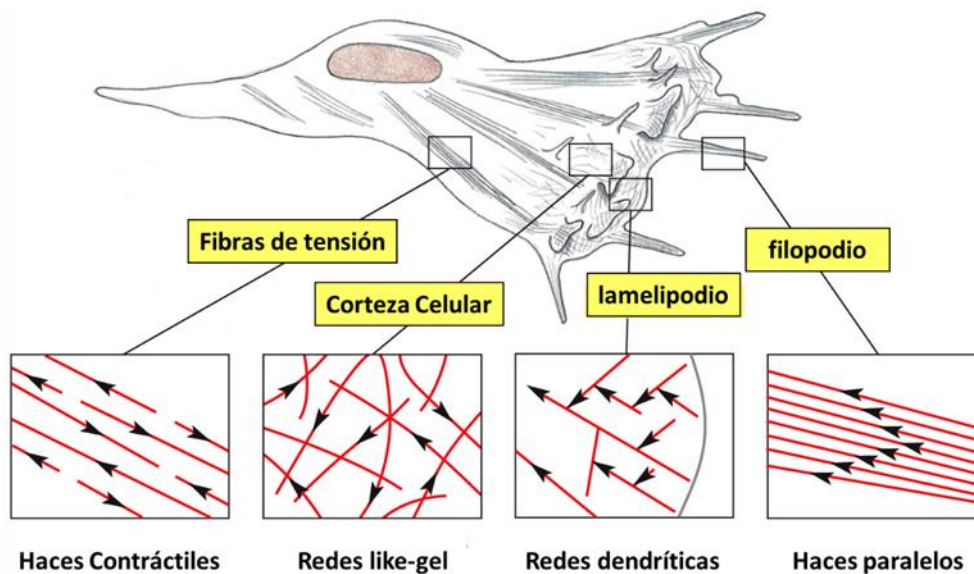


Notar que la entrada y salida de monómeros ocurre en ambos extremos, pero no a la misma intensidad, así el grosor de la flecha indica la tasa a la cual están ocurriendo estos eventos. (Tomada de Alberts y cols, 2015).

Las estructuras que no pueden ser visualizadas representan realidades no visibles, por lo que es necesario, de acuerdo con nuestra propuesta, tener una configuración imaginaria inicial, que debe estar contenida en el diseño experimental, con el fin de que las evidencias obtenidas permitan complementar o corregir modelos ya existentes o bien proponer nuevos modelos, con los que se pueda apreciar su estructura o sus relaciones y/o asociaciones. Esto es, la propuesta de la epistemología de la imaginación permite pasar, de la descripción conceptual, a su representación estructural y/o funcional.

Los filamentos individuales de actina se ensamblan en dos tipos generales de estructuras, denominados haces de actina y redes de actina, que desempeñan papeles distintos en la célula. En los haces, los filamentos de actina se disponen en estructuras paralelas estrechamente agrupadas. En las redes, los filamentos de actina se unen con una disposición ortogonal más holgada y forman mallas tridimensionales que tienen las propiedades de los geles semisólidos. La formación de estas estructuras está dirigida por varias proteínas de unión a la actina que entrelazan los filamentos de actina de maneras distintas.

En la periferia de la célula hay una elevada concentración de filamentos de actina que forman una red tridimensional bajo la membrana plasmática. Esta red de filamentos de actina y de proteínas de unión a la actina (denominada corteza celular) determina la forma de la célula, y permite el movimiento de la superficie celular, lo que posibilita que las células puedan migrar, engullir partículas y dividirse. De esta manera, la asociación del citoesqueleto de actina con la membrana plasmática es fundamental para la estructura y función celular. En concreto, muchos tipos de movimiento celular están basados en el proceso dinámico de polimerización y despolimerización de los filamentos de actina adyacentes a la membrana plasmática. Por lo tanto, el remodelado del citoesqueleto de actina es un proceso fundamental en la respuesta de muchas células a los factores de crecimiento y a otros estímulos extracelulares (Cooper, 2018).



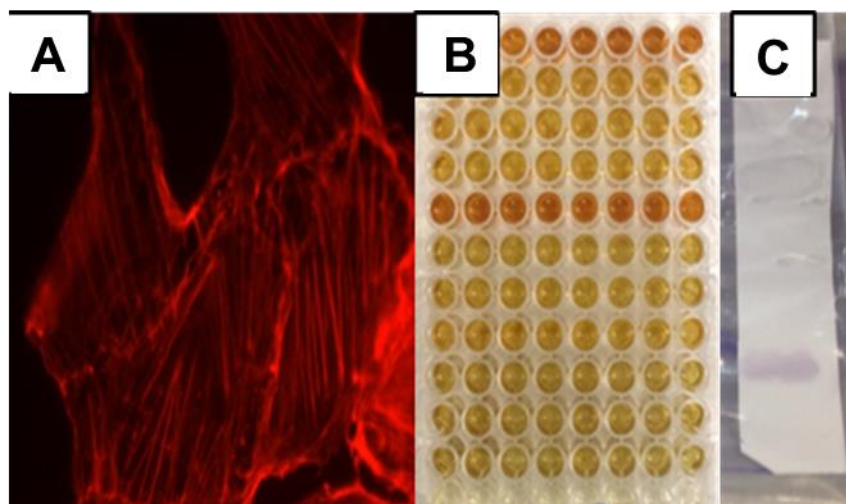
**FIGURA 4.** Formaciones celulares producidas por la reestructuración del citoesqueleto de actina.

Se muestra un fibroblasto dentro de una caja de cultivo con cuatro áreas aumentadas para mostrar los arreglos de los filamentos de actina. Los filamentos de actina se muestran en rojo, con las cabezas de flecha apuntando hacia el extremo menos. Las fibras de tensión son contráctiles y ejercen tensión. La corteza de actina subyace a la membrana plasmática y consiste de redes similares a un gel o redes dendríticas de actina que realizan la protrusión de la membrana en forma de lamelipodios. Los filopodios son proyecciones de la membrana plasmática en forma de aguja que permiten que la célula explore el ambiente. (Tomada de Alberts y cols, 2015).

El ensamble y desensamble de los filamentos de actina, sus uniones cruzadas constituyendo haces y redes, y su asociación con otras estructuras celulares (como la membrana plasmática) se regulan mediante diversas proteínas de

unión a la actina, que son componentes críticos del citoesqueleto de actina. La reestructuración del citoesqueleto inducida por estímulos externos a la célula, incluyen la formación de evaginaciones de la superficie celular (filopodios, lamelipodios y ondulaciones en la membrana) así como la formación de adhesiones focales y fibras de tensión (Pollard y Borisy, 2003).

Una vez conocida la estructura fundamental y el funcionamiento del citoesqueleto de actina, resulta importante comprender el papel que la aplicación de diversas técnicas experimentales ha jugado para conocer aspectos adicionales del citoesqueleto de actina. Dependiendo de la técnica utilizada, se puede visualizar la distribución de la actina dentro de la célula mediante inmunofluorescencia y su observación al microscopio de epifluorescencia (figura 1.A), esta técnica ha sido fundamental para describir la interacción de la actina con múltiples microorganismos (bacterias, virus y hongos) y cómo éstos suelen sacar ventaja durante su ciclo infeccioso. También, se puede evidenciar su presencia en un extracto de proteínas mediante western-blot (figura 1.C), lo cual permite, tanto determinar su presencia como su estado de polimerización (actina F o actina G), así como la presencia de interacciones con otras proteínas. Finalmente, se puede cuantificar mediante un ensayo de ELISA (figura 1.B), lo que permite detectar posibles cambios en su concentración durante procesos celulares específicos (mitosis, migración, fagocitosis, etc.). Entender que en estas tres manifestaciones tan disímboles estamos hablando de la misma biomolécula y comprender el significado de las variaciones detectadas dependiendo del método utilizado, son importantes para lograr la comprensión y el aprendizaje significativo de este tema.



**FIGURA 5.** La presencia de actina evidenciada por tres diferentes metodologías.

La forma como se representa y su significado dependen de la técnica y del diseño experimental utilizados. A. Filamentos de actina observados mediante microscopía de fluorescencia, esta técnica permite determinar la distribución de los filamentos de actina en la célula. B. Detección y cuantificación de actina mediante la técnica de ELISA. C. Detección de la presencia de actina en un extracto celular mediante la técnica de Western-blot.

## V. EPISTEMOLOGÍA DE LA IMAGINACIÓN Y DOCENCIA

Una máxima en la tradición epistemológica sensualista es que sin percepción sensorial es imposible el conocimiento. Aun el saber científico, dicen, se abre paso primeramente a través de los órganos sensoriales, señalando que especialmente la vista contribuye en la adquisición del conocimiento, por la diversidad de objetos que nos permite discernir; y el oído, por ser la palabra, el logos, un sonido significativo (Araiza Martínez, 2012). A esta propuesta sensualista se opone la propuesta epistemológica de que la observación está cargada de teoría, propuesta en el capítulo uno "Observation" del libro *Patterns of Discovery* (Hanson, 1958).

Consideremos a dos microbiólogos. Están observando la preparación de un portaobjetos; si se les pregunta qué es lo que ven, pueden dar respuestas distintas. Uno de ellos ve en la célula que tiene ante él un agrupamiento de materia extraña: es un producto artificial, un grumo resultante de una técnica de teñido inadecuada. Este coágulo tiene poca relación con la célula, in vivo, como la que puedan tener con la forma original de un jarrón griego las rayas que sobre éste haya dejado el pico del arqueólogo. El otro biólogo identifica en dicho coágulo un órgano celular, un "aparato de Golgi". En cuanto a las técnicas, sostiene que "la regla establecida para detectar un órgano celular consiste en fijar y teñir la preparación". ¿Por qué recelar de esta técnica suponiendo que sólo brinda productos artificiales, mientras que otras revelan órganos genuinos? (Hanson, 1958).

La alternativa que hemos encontrado es que a la percepción la precede la acción y a ésta la imaginación: una observación cargada de imaginación, la cual, aún en el saber científico se abre paso sirviendo de guía a los sentidos, sobre todo en aquellas áreas no visibles a simple vista ni con ayuda de instrumentos. Como se planteó en un trabajo reciente (Rodríguez-Salazar LM, 2020; Rodríguez-Salazar LM y cols., 2020), la función de los instrumentos es darle la razón a la imaginación, confirmando lo que una imaginación razonada había supuesto. La primera propuesta fue la de la configuración imaginaria de una realidad posible, hecha realidad mediante el uso de instrumentos, aplicada al caso del electromagnetismo<sup>2</sup> (Rodríguez-Salazar, 2015). De esta propuesta se pasó a la de la configuración imaginaria de una realidad no visible, aplicada al caso de la circulación sanguínea, en donde la comunicación entre venas y arterias, que desde Galeno había sido supuesta como posibilidad, definida con el concepto anastomosis, sólo pudo ser observada con las mejoras realizadas al microscopio (Rodríguez-Salazar LM, 2020; Rodríguez-Salazar LM y cols., 2020). Ahora, esta propuesta la estamos llevando a diversas áreas del mundo biológico (García Tovar CG y cols., 2020; Oliver González y cols., 2021; Garrido Fariña y cols., 2021).

En el marco de la epistemología de la imaginación, se plantea que el cambio teórico en ciencia es producto de las acciones evocadas de la experiencia simbólico-imaginativa, expresada en un principio como una configuración imaginaria de nuevas realidades posibles; un tipo de experiencia que se entiende, en primera instancia, como el proceso de darle forma en la imaginación a algo no existente, y en segunda instancia, el proceso de ostentarlo material y/o matemáticamente para hacerlo inteligible a la colectividad (Rodríguez Salazar LM, 2016).

Aprender los conceptos básicos de la biología celular, requiere del desarrollo de ciertos procesos cognitivos para entender explicaciones que no son asequibles a través de la observación ni de la intuición, es decir se requiere superar el pensamiento empírico y el pensamiento intuitivo, y emprender el camino hacia el pensamiento científico teórico. Los procesos subyacentes incluyen la observación de un proceso a nivel macroscópico, la interpretación del mismo a nivel submicroscópico y su modelización (Johnstone, 1982) con lo cual podríamos considerar que se ha comprendido.

Según Novak (1999) un discurso bien organizado por parte del docente y un grupo de alumnos motivados son factores suficientes para promover que éstos alcancen un aprendizaje significativo. Sin embargo, investigaciones en psicología cognitiva y enseñanza de las ciencias han mostrado que las ideas y las formas de pensar intuitivas de los estudiantes tienen un papel central en la construcción de aprendizajes significativos (Duit, 2007). El razonamiento de los estudiantes de ciencias puede estar restringido por suposiciones implícitas sobre las propiedades y el comportamiento de las entidades en un sistema, o por atajos de razonamiento que les ayudan a disminuir el esfuerzo cognitivo. Aún a nivel universitario, el pensamiento de los estudiantes está dominado por conocimientos y formas de razonamiento intuitivos (Talanquer, 2010).

---

<sup>2</sup> Hasta antes de 1820 era imposible considerar que la electricidad se comportara como si fuera un imán y que esto se debiera a la electricidad en movimiento, es decir, la corriente eléctrica, cuando no existía dicho concepto. Menos aún, que la electricidad y el magnetismo pudieran rotar mutuamente, como se lo imaginó el Danés Hans Christian Ørsted, diseñando y contrayendo instrumentos para demostrar lo que sólo existía en su imaginación como una realidad teóricamente posible.



El discurso de los profesores en el aula de ciencia puede estar orientado a transmitir conocimientos científicos aceptados o a guiar a los estudiantes para promover dicho pensamiento, haciéndolos entrar en patrones de razonamiento y de lenguaje desarrollados por la comunidad científica para que posteriormente expliciten su comprensión (Sutton, 2003). Habitualmente, los docentes utilizan ambas estrategias de enseñanza en un mismo curso dependiendo del contenido a enseñar y del contexto del aula.

Considerar a la imaginación como una cuestión central en el aprendizaje, hace que los docentes comiencen a forjar nuevas formas de hacer que las clases sean coherentes y atrapantes. Para esto, muchos docentes usan relatos de todo tipo para enseñar matemáticas y ciencias. El objetivo no es inventar un relato que se adecue al contenido, sino pensar la clase o unidad como un relato. Con el relato se establece la importancia y se motiva a la clase para desear aprender el tema, para ello el docente debe responder las siguientes preguntas; ¿Qué hace que el tema sea emocionalmente atrapante?, ¿Cómo se puede evocar la capacidad de asombro?, ¿Por qué nos debería importar? (Egan, 2010).

Otra herramienta es el uso de imágenes mentales vívidas. La imagen es la más poderosa forma de comunicación entre mente y mente. No me refiero a ilustraciones sino a imágenes creadas en la mente por efecto de las palabras.

Consideremos la diferencia entre un cuento o novela que hemos leído y luego la película derivada de ese relato. La fuerza emocional de la película es casi siempre menos potente que las imágenes generadas en la mente del lector a partir de su lectura. Esa habilidad para generar imágenes a partir de palabras es un gran estímulo para la imaginación y una poderosa herramienta de aprendizaje (Egan, 2010).

Por otra parte, está ampliamente admitido que la adquisición del conocimiento científico se favorece con el intercambio de opiniones y la negociación de significados entre alumnos y profesor (Gómez-Moliné y Sanmartí, 2000). Son muchas las competencias que son potenciadas por una educación más activa y colaborativa, estas competencias juegan en los estudiantes un rol crucial no solo durante el proceso de enseñanza-aprendizaje, sino en su desarrollo personal y laboral. Hoy no solo cuenta saber de las cosas, es importante también resolver problemas, comunicarse efectivamente, actuar colaborativamente, ser creativo, pensar críticamente, entre otras. Dentro de las habilidades desarrolladas por este tipo de estrategias educativas se pueden resaltar; pensamiento crítico, creatividad y competencia comunicativa, entre otras (López T y cols., 2020).

## VI. CONCLUSIONES

Recientemente, hemos planteado que es posible obtener conocimiento mediante configuraciones mentales aplicadas a la realidad, basados en lo estipulado en la epistemología de la imaginación, que señala la creación de configuraciones imaginarias de realidades posibles, en el caso del electromagnetismo en el campo de la física (Rodríguez-Salazar, 2015), planteado posteriormente como la configuración imaginaria de realidades no visibles en el caso de la circulación sanguínea (Rodríguez-Salazar, 2018), traído ahora a la biología celular para reconocer la estructura y función celular.

Dicho de otra manera, tener acceso a una realidad material no visible, por lo tanto, no descriptible, sino construida conceptualmente por entidades abstractas a través de la imaginación, representada en modelos. Esto permitirá que los alumnos, a partir de evidencias indirectas (tinciones, coloraciones, bandas, etc.) construyan en su mente la estructura y los procesos subyacentes de una cierta célula, eventos que son imposibles de observar y, sin embargo, ser capaces de crear una realidad posible de lo no visible. La epistemología de la imaginación se fundamenta en la trilogía cognitiva de crear configuraciones imaginarias de realidades no visibles, para su materialización formal en modelos. En conclusión, se trata de una propuesta de una observación cargada de imaginación, como lo señala nuestro caso de estudio, de la red de filamentos de proteína que se extiende por el citoplasma de todas las células eucariotas, el cual proporciona un armazón estructural para la célula, actuando como un andamio que determina la forma celular y la organización general del citoplasma, que a su vez es responsable de los movimientos de la célula: el citoesqueleto. En este análisis se brindó un enfoque sobre las configuraciones imaginarias de realidades no visibles para que, con las diferentes técnicas

experimentales de la biología celular, sean realidades visibles mediante las representaciones en modelos de la realidad material.

## AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo contó con el apoyo de los proyectos PIAPIME ID 3.11.13.22 y de la cátedra de investigación CI2267 por parte de la FES Cuautitlán, UNAM y los proyectos SIP-IPN 20220437 y PAPIIT IN 401222 UNAM.

## REFERENCIAS

Calvo Alfonso. *Biología Celular Biomédica*. 2015. Elsevier España.

Plan de estudios de la carrera de MVZ. (2007). FES Cuautitlán, UNAM. Recuperado de: [http://escolar1.unam.mx/planes/fes\\_cuautli/MVZ-Cuau.pdf](http://escolar1.unam.mx/planes/fes_cuautli/MVZ-Cuau.pdf)

Oliver González M.R., Soto Zárate C.I., García Tovar C.G., Garrido Fariña G., Rodríguez Salazar L.M. 2017. La epistemología de la imaginación en el aprendizaje de la microbiología celular. *Latin American Journal of Science Education* 4, 22069.

Soto Zárate C.I., García Tovar C.G., Garrido Fariña G., Oliver González M.R., Rodríguez Salazar L.M. (2017). Trascendencia del desarrollo de prácticas de enseñanza y de los foros virtuales (TIC) sobre el aprendizaje de la Biología Celular. *Latin American Journal of Science Education* 4, 22064.

Cooper GM. (2018). *The Cell. A Molecular Approach*. 8th ed. ASM Press. Washington, USA.

Alberts B et al. (2015). *Molecular Biology of the Cell*. Garland Science, 6th ed. New York, USA.

Halliburton, W.D. (1887). On muscle plasma. *J. Physiology* (8).

Szent-Gyorgyi, A. (1945) Studies on muscle. *Acta Physiol Scandinav* 9 (suplemento. 25)

Straub, F.B. y Feuer, G. (1989). Adenosinetriphosphate the functional group of actin. 1950. *Biochim Biophys Acta* 1000:180-195. PMID 2673365.

Elzinga, M.; Collins, J.H.; Kuehl, W.M.; Adelstein, R.S. (1973). Complete amino-acid sequence of actin of rabbit skeletal muscle. *Proceedings National Academy of Sciences* 70 (9): 2687-2691.

Kabsch W, Mannherz HG, Suck D, Pai EF, Holmes KC. (1990). Atomic structure of the actin: DNase I complex. *Nature* 347 (6288) :37-44. PMID 2395459. doi: 10.1038/347037a0

Holmes KC, Popp D, Gebhard W, Kabsch W (1990). Atomic model of the actin filament. *Nature* 347 (6288): 44-49. PMID 2395461. doi: 10.1038/347044a0

Otterbein LR, Graceffa P; Domínguez, R (2001). The crystal structure of uncomplexed actin in the ADP state. *Science* 293 (5530). pp. 708-711. PMID 11474115. doi: 10.1126/science.1059700.

Sawaya MR, Kudryashov DS, Pashkov I, Adisetiyo H, Reisler E, Yeates TO. (2008). Multiple crystal structures of actin dimers and their implications for interactions in the actin filament. *Acta Crystallogr D Biol Crystallogr* 64(Pt 4): 454-465. PMID 18391412. doi: 10.1107/S0907444908003351.

- Narita Takeda S, Yamashita A, Maéda Y. (2006). Structural basis of actin filament capping at the barbed-end: a cryo-electron microscopy study. *Embo J* 25 (23): 5626-5633.
- Gunning PW, Ghoshdastider U, Whitaker S, Popp D, Robinson RC (2015). The evolution of compositionally and functionally distinct actin filaments. *Journal of Cell Science* 128 (11): 2009-2019.
- Pollard TD., Borisy GG. (2003). Cellular motility driven by assembly and disassembly of actin filaments. *Cell* 112(4): 453-465. doi: 10.1016/s0092-8674(03)00120-x.
- Araiza Martínez Jesús Manuel. (2012). Percepción Sensorial, Imaginación y Epistemología en Aristóteles: Teoría del Conocimiento. Editorial Académica Española.
- Hanson NR. (1958). *Patterns of Discovery. An inquiry into the conceptual foundations of science.* Cambridge University Press.
- Rodríguez-Salazar LM. (2020). Capítulo 5. La Imaginación en Jean-Paul Sartre y la Epistemología de la Imaginación. En: Monroy Nasr Z., León-Sánchez R. y Alvarez Díaz de León G. (editores). *Indagaciones cognoscitivas acerca de la enseñanza de la filosofía y de la ciencia.* Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rodríguez-Salazar LM., Oliver González MR. y Garrido Fariña GI. (2020). Capítulo 9. Epistemología de la Imaginación Aplicada al Mundo Microbiológico: un Mundo Incoloro al que la Ciencia da Color. En: Monroy Nasr Z., León-Sánchez R. y Alvarez Díaz de León G. (editores). *Indagaciones cognoscitivas acerca de la enseñanza de la filosofía y de la ciencia.* Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rodríguez Salazar LM. (2015). Empirismo Racionalista, Racionalismo Apriorista y el Origen de la Psicología Teórica. En Rodríguez-Salazar y Monroy Nasr (Coordinadores). *Psicología para Epistemólogos, Epistemología para Psicólogos.* Corinter-Gedisa-UNAM.
- Rodríguez Salazar LM. (2018). Epistemología de la imaginación. El trabajo experimental de William Harvey. *Corinter Humanidades.*
- García Tovar C.G., Soto Zárate C.I., Oliver González M.R., Garrido Fariña G.I y Rodríguez Salazar L.M. 2020. Piezas anatómicas preservadas como instrumento de enseñanza de la anatomía veterinaria. *Latin American Journal of Science Education* 7, 12004.
- Oliver González M.R., García Tovar C.G., Soto Zárate C.I., Garrido Fariña G.I. y Rodríguez Salazar L.M. 2021. Epistemología de la imaginación en el trabajo de docencia del laboratorio de anatomía radiológica veterinaria e imagenología. *Arte y aprendizaje. Latin American Journal of Science Education* 8, 12005.
- Garrido Fariña G.I, García Tovar C.G., Soto Zárate C.I., Oliver González M.R. y Rodríguez Salazar L.M. 2021. Epistemología de la imaginación y el razonamiento simbólico imaginativo en histología y microtecnia. *Latin American Journal of Science Education* 7, 22006.
- Rodríguez Salazar LM. (2016). El cambio teórico en ciencia desde una epistemología de la imaginación. *Elementos*, volumen 23, número 101, enero-marzo de 2016, pp. 21-27.
- Johnstone AH. (1982). Macro and micro chemistry. *School Science Review*, 64(227), 377-379.
- Novak J. (1999). *Aprendiendo a aprender.* Madrid: Ediciones Martínez Roca.
- Duit R. (2007). Science Education Research Internationally: Conceptions, Research Methods, Domains of Research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 3(1), 3-15.
- Talanquer V. (2010). Pensamiento intuitivo en química: suposiciones implícitas y reglas heurísticas. *Enseñanza de las ciencias*, 28 (2), 165-174.
- Sutton C. (2003). Los profesores de ciencias como profesores de lenguaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), 21- 25.

Egan Kieran. (2010). La imaginación: una olvidada caja de herramientas del aprendizaje. *Praxis Educativa* (Arg). Vol. XIV, No. 4, 12-16. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=153115865002>

Gómez-Moliné, M. & Sanmartí, N. (2000). Reflexiones sobre el lenguaje de la ciencia y el aprendizaje. *Educación Química*, 11(2), 266-273.

López Tavares DB. (2020). Estrategias didácticas para el uso eficaz de simulaciones interactivas en el aula. *Latin American Journal of Science Education* 7, 12019.