

Actualización del contenido teórico de la asignatura de Pregrado en Biología “Biología Celular”
(20064) por medio de las TIC

Fernando Andrés Villamizar Moreno

Trabajo de Grado para Optar al Título de Biólogo

Director

Francisco José Martínez Pérez

Doctor en Ciencias

Codirector

Jorge Iván Torres Camacho

Magíster en Pedagogía

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Biología

Pregrado en Biología

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

A todos los estudiantes, especialmente a los que la curiosidad por entender el mundo que los rodea los llevó a querer transmitirla con los demás, convertirse en docentes y a aquellos que sueñan con serlo.

Agradecimientos

A mis padres, por su gran amor y por siempre haber estado conmigo de forma incondicional.

A mi nona (q. e. p. d.), quien sé que habría dado todo por ver este momento.

A mi persona especial, por siempre creer en mí, por permitirme soñar y por habitar en mi corazón y darle calidez.

A mis amistades, a las que ya no están y a las que siguen conmigo.

A los niños de la Fundación Hope, quienes me ayudaron a darle un sentido diferente a la vida y redescubrir mi pasión por la enseñanza.

A mis compañeros del Laboratorio de Genómica Celular Aplicada por: los comentarios, aportes y preguntas inquisitivas.

A los profesores del curso de Escritura y Oralidad para trabajos de grado de la Universidad Industrial de Santander.

A mi codirector, por su contribución indispensable en el componente pedagógico.

A mi director, por darme la oportunidad de realizar un trabajo relacionado con educación y por no dejar de creer en mis capacidades.

Agradezco al Grupo de Investigación de Cómputo Avanzado y a Gran Escala, al Laboratorio de Genómica Celular Aplicada y al Centro de Investigación para el Desarrollo de la Docencia en la UIS - CEDEDUIS su apoyo y orientación para este trabajo de grado.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Objetivos.....	15
1.1 Objetivo General.....	15
1.2 Objetivos Específicos.....	15
2. Marco teórico	16
2.1 La pedagogía tradicional y el aprendizaje pasivo	16
2.2 Las corrientes de la psicología del aprendizaje.....	16
2.2.1 Conductismo	16
2.2.2 Cognitivismo.....	17
2.2.3 Constructivismo	18
2.3 Aprendizaje activo	19
2.3.1 Aprendizaje cooperativo y colaborativo	19
2.3.2 Aprendizaje basado en retos	20
2.3.3 Aprendizaje híbrido	20
2.3.4 Aprendizaje basado en juegos y gamificación.....	21
2.4 El modelo pedagógico UIS	22

2.5 La enseñanza de la Biología Celular en el contexto del Pregrado en Biología de la Universidad Industrial de Santander	23
2.6 Decreto 1330 de 2019	23
3. Metodología	24
3.1 Revisión del contenido teórico actual de la asignatura Biología Celular de la Escuela de Biología de la Universidad Industrial de Santander.....	24
3.2 Selección y revisión de los temas fundamentales para la comprensión de la Biología Celular.....	24
3.3 Redacción de las competencias de aprendizaje	25
3.4 Planteamiento del uso de las TIC como mediadoras del aprendizaje activo	26
4. Resultados	27
4.1 Diagnóstico del contenido teórico en el programa actual de la asignatura Biología Celular.....	27
4.2 Selección y revisión bibliográfica de los conceptos fundamentales del curso de Biología Celular	35
4.2.1 Temas y subtemas de la asignatura.....	36
4.3 Competencias de aprendizaje.....	37
4.3.1 Competencias generales de la asignatura.....	37
4.3.2 Competencias por eje temático	37
4.4 Diseño del ambiente virtual de aprendizaje de la asignatura Biología Celular	40

4.4.1 Moodle	40
4.4.2 Habtica	46
5. Conclusiones	50
Referencias Bibliográficas	51
Apéndices.....	83

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de los temas y subtemas del plan vigente de la asignatura Biología Celular de acuerdo a los temas descritos por Mermelstein y Costa (2017) y por área principal de la biología.....	28

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Índice interactivo del aula virtual de la asignatura Biología Celular.....	41
Figura 2. Elemento interactivo desplegable de la cuarta unidad de la asignatura: “Ciclo celular”.....	42
Figura 3. Video de la plataforma JoVE acerca de la evolución en eucariotas.....	43
Figura 4. Simulación de ósmosis y difusión. Disponible en Biology Simulations.....	44
Figura 5. Modelo 3D de una célula animal en la Profase I de la Meiosis con etiquetas. Disponible en Effigos.....	45
Figura 6. Ejemplo de pregunta para el control de lectura de los títulos del 4 al 10 del artículo “Retrograde signals from endosymbiotic organelles: a common control principle in eukaryotic cells” (Pfannschmidt et al., 2020).....	46
Figura 7. Pantalla de inicio del grupo correspondiente a la asignatura de Biología Celular en la plataforma Habitica.....	47
Figura 8. Lista de desafíos planteados en la plataforma de gamificación Habitica para la asignatura de Biología Celular.....	48
Figura 9. Lista de actividades pendientes del proyecto final de aula, que corresponde al desafío titulado “Último desafío: ¡Batalla por equipos contra el Jefe Final”.....	49

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice A. Plan de estudio vigente de la asignatura “Biología Celular” (20064) del Pregrado en Biología de la Universidad Industrial de Santander, aprobado en 2010 y actualizado en 2019.....	83
Apéndice B. Búsqueda de artículos científicos relacionados con los nuevos subtemas propuestos para la asignatura de Biología Celular.....	87
Apéndice C. Lista de recursos TIC propuestos por cada subtema.....	97

Resumen

Título: Actualización del contenido teórico de la asignatura de Pregrado en Biología “Biología Celular” (20064) por medio de las TIC^{1*}

Autor: Fernando Andrés Villamizar Moreno^{2*}

Palabras Clave: aprendizaje activo, ambiente virtual de aprendizaje, aula invertida, Biología Celular, gamificación, malla curricular, TIC

Descripción: Este trabajo de grado en modalidad Práctica en Docencia plantea una actualización de la malla curricular y las estrategias pedagógicas usadas para la enseñanza del contenido teórico de la asignatura de Biología Celular del Pregrado en Biología de la Universidad Industrial de Santander, con el fin de responder a la reforma académica que actualmente gesta la Escuela de Biología. Para ello, se realizó un diagnóstico del plan de estudios, una revisión bibliográfica de los temas, se enfatizó en el desarrollo de competencias para el aprendizaje activo, además de articular el contenido con herramientas de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en ambientes virtuales de aprendizaje, usando estrategias de aula invertida y gamificación. Se determinó la importancia de la revisión periódica de los contenidos, el desarrollo de competencias en los estudiantes y la implementación de las TIC en el aula, que permiten una mayor inmersión en el aprendizaje de los ejes temáticos de la asignatura.

^{1*} Trabajo de Grado

^{2**} Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Pregrado en Biología. Director: Francisco José Martínez Pérez. Doctor en Ciencias. Codirector: Jorge Iván Torres Camacho. Magíster en Pedagogía.

Abstract

Title: Updating the theoretical content of the undergraduate biology course "Cell Biology" (20064) using ICTs^{3*}

Author(s): Fernando Andrés Villamizar Moreno⁴

Key Words: active learning, Cell Biology, curriculum, flipped classroom, gamification, ICTs, virtual learning environment

Description: This degree work in Teaching Practice modality proposes an update of the curriculum and the pedagogical strategies used for teaching the theoretical content of the subject of Cell Biology of the Biology Undergraduate Program of the Universidad Industrial de Santander, in order to respond to the academic reform currently being carried out by the School of Biology. For this purpose, a diagnosis of the curriculum was made, a bibliographic review of the topics, the development of competences for active learning was emphasized, in addition to articulating the content with Information and Communication Technologies (ICT) tools in virtual learning environments, using inverted classroom and gamification strategies. The importance of the periodic revision of the contents, the development of competencies in the students and the implementation of ICT in the classroom were determined, which allow a greater immersion in the learning of the thematic areas of the subject.

^{3*} Degree Work

⁴Faculty of Sciences. School of Biology. Undergraduate in Biology. Director: Francisco José Martínez Pérez. PhD in Science. Co-director: Jorge Iván Torres Camacho. MA in Pedagogy.

Introducción

Actualmente, los currículums universitarios de las asignaturas de pregrado en las Ciencias Naturales y Experimentales, como es el caso de la Biología Celular, enfrentan diversos desafíos como es la obsolescencia de su contenido, debido a: 1. Los avances científicos suelen ir a un ritmo más rápido que su implementación en los planes de estudio (Halabieh et al., 2022; McAteer et al., 2023). 2. A la lenta implementación de los modelos que divergen respecto a la pedagogía tradicional, que se han venido desarrollando en los programas de pregrado desde finales del siglo pasado y principios de los 2000 (Davies, 2000; Groccia y Buskist, 2011). 3. Su integración con las nuevas tecnologías (Bradley y Oliver, 2002; de Oliveira y Galembeck, 2016; Marrs y Novak, 2004; Vijapurkar et al., 2014). 4. Su transición acelerada de manera abrupta como consecuencia de la pandemia generada por el SARS-CoV-2 (Abriata, 2022; Darici et al., 2021; Rossi et al., 2021), lo cual evidencia limitaciones existentes en la Educación Superior (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2020) y, por ende, su redirección hacia modelos de educación híbrida (Evans et al., 2024; Tahir et al., 2022; Tsakeni, 2022).

Al considerar lo anterior, los ejes temáticos de la asignatura “Biología Celular” de los programas de enseñanza-aprendizaje de los pregrados en Biología han sido fundamentados a partir de libros de texto cuyos contenidos corresponden a la Biología Celular clásica. Ejemplo de estos son: “Biología Celular y Molecular: conceptos y experimentos” (Karp et al., 2006), “Introducción a la Biología Celular” (Alberts et al., 2006) de “Biología Celular y Molecular” (Lodish et al., 2005). Dichos instrumentos para la generación del conocimiento celular para los estudiantes corresponden a estrategias de enseñanza tradicionales, cuyo foco es el de cubrir la mayor cantidad de contenido posible, en lugar de profundizar en los conceptos, competencias y resultados de

aprendizaje, claves para su aplicación en la investigación científica y labor, por ende su desarrollo profesional (Friesen, 2011; Petersen et al., 2020; Tanner y Allen, 2002).

Además, la actualización de los contenidos en la última edición de los libros guía para la enseñanza de la Biología Celular (Alberts et al., 2022; Karp et al., 2019; Lodish et al., 2021) no incluyen los avances recientes de las ciencias experimentales que se publican en revistas científicas especializadas y, por lo tanto, no logran incluirse en cualquier tipo de libro de Biología Celular (Gibbens, 2021; Petersen et al., 2020). Esta situación sugiere que la aplicación de sus contenidos, al igual que otros elementos para la formación de estudiantes de educación superior en Biología requieren su actualización.

La principal consecuencia de estas situaciones se refleja en la formación de profesionales que no pueden responder a las necesidades actuales del mercado y de la academia, lo que genera insatisfacción entre el estudiantado, concomitantemente entre los egresados y empleadores.

Por las razones anteriores y ante las reformas educativas implementadas por el Gobierno de Colombia, la Escuela de Biología de la Universidad Industrial de Santander gesta una reforma en el plan de estudios del Pregrado en Biología. Este diseño de la actualización de la malla curricular de la asignatura “Biología Celular” responde a: las necesidades de la reforma, de los estudiantes y docentes, así como a los nuevos retos de la educación superior post pandemia. Por lo tanto, en esta investigación se muestra una propuesta para la actualización de la asignatura “Biología Celular” que se imparte en la Escuela de Biología. Su diseño se sustenta en el perfil del egresado de la Escuela y de la Universidad Industrial de Santander mediante Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para generar experiencias pedagógicas que consoliden las competencias y los resultados de aprendizaje que le permitan al estudiante la mejor comprensión

de las asignaturas posteriores en la malla curricular del Pregrado en Biología y de su labor profesional.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Actualizar el contenido teórico de la asignatura “Biología Celular” (20064) del Pregrado en Biología de la Universidad Industrial de Santander, por medio de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

1.2 Objetivos Específicos

Determinar el estado actual del contenido teórico de la asignatura.

Rediseñar el contenido de tal forma que permita la comprensión de las bases celulares de la vida por parte de los estudiantes de segundo nivel de acuerdo con los lineamientos pedagógicos UIS.

Plantear estrategias de aprendizaje activo con las TIC como herramientas de apoyo.

2. Marco teórico

2.1 La pedagogía tradicional y el aprendizaje pasivo

La cátedra universitaria, cuyos orígenes se encuentran en las instituciones medievales, tenía como finalidad la preservación y la transmisión del conocimiento. La primera fue desarrollada en documentos escritos de forma manual, lo cual fue sustituido con la invención de la imprenta, lo que fortaleció su función transmisiva del conocimiento y de ese entonces este proceso continúa y se ha fortalecido con su modernización con la comunicación electrónica (Friesen, 2011; Laurillard, 2013).

Dentro de la pedagogía tradicional, el propósito de la cátedra es el de transmitir el conocimiento de forma unidireccional, del maestro hacia los estudiantes, donde el primero tiene el rol primario de control del flujo de la información, mientras que el estudiantado mantiene un rol pasivo, con un principal desarrollo en la memorización. En consecuencia, se prioriza la cantidad de contenido transmitido en lugar de la profundidad del mismo (Petersen et al., 2020).

2.2 Las corrientes de la psicología del aprendizaje

El desarrollo de la psicología de la educación permitió la llegada de diferentes teorías, cuyo propósito es el de responder a cómo funciona el aprendizaje (Berliner, 1993; Snowman, 1997). Cada una se diferencia en el tipo de aprendizaje, el rol del maestro, el involucramiento del estudiante, la naturaleza del conocimiento y su enfoque epistemológico (Torres et al., 2022).

2.2.1 Conductismo

El foco central conductista es el condicionamiento, el ajuste del comportamiento a partir del estímulo-respuesta, que inició con el condicionamiento clásico de Pavlov (Clark, 2004) y posteriormente desarrollado con el condicionamiento operante (instrumental) de Skinner y

Thorndike (Akpan, 2020; Skinner, 1963; Thorndike, 1933). En esta teoría, el profesor es el transmisor del conocimiento, mientras que el estudiante un receptor. Sin embargo, no es posible clasificarlo como una corriente de aprendizaje pasivo, ya que toma en cuenta la respuesta del estudiante al conocimiento transmitido. Así mismo, no define claramente la naturaleza del conocimiento, pero sí la dirección del aprendizaje (Ahmed y Rahman, 2022; Şentürk y Baş, 2020).

Su base epistemológica es principalmente empirista, viéndose reflejada en su enfoque en los comportamientos observables (Childers et al., 2023); por lo tanto, excluye los procesos mentales involucrados en el aprendizaje, como son: el pensamiento, la memoria y la resolución de problemas, además de la importancia que tiene el estudiante como constructor del conocimiento (Fletcher, 2009; Moore, 1984). Estas limitaciones llevaron al desarrollo de las teorías cognitivistas y constructivistas (Miller, 2003).

2.2.2 Cognitivismo

De la primera limitante surge el cognitivismo, cuyo foco son los procesos mentales del aprendizaje desde el estudiante, el cual consiste en la adquisición de nuevo conocimiento por medio de la cognición y sus procesos involucrados como la atención, la memoria, la resolución de problemas, los sentimientos y la toma de decisiones (Ausubel et al., 1968; Kazi y Galanaki, 2020; Silva, 2020). A diferencia del conductismo, en la teoría cognitiva se considera que la transmisión de conocimiento es exitosa cuando el estudiante puede aplicarlo a distintos niveles (Arias et al., 1999). Esto se puede encontrar en la Taxonomía de los Objetivos de la Educación (Bloom, 1956; Gogus, 2012), en la que el aprendizaje es un proceso jerárquico que involucra el paso del pensamiento de orden inferior, como recordar y comprender, al de orden superior, que implica aplicar, analizar, evaluar y crear.

Esto significa que la función del maestro es la de mediador en el uso de las habilidades necesarias para el procesamiento del conocimiento, lo que indica que el rol del estudiante pasa a ser activo, específicamente un sujeto procesante.

Su base epistemológica es principalmente racionalista, debido a que se centra en la interpretación del mundo externo a partir de la mente, aunque también tiene en cuenta la percepción sensorial. (Hjørland, 2002). La extensión de la teoría cognitivista para incluir la construcción individual del significado de la realidad comenzaría el paso al constructivismo (Ertmer y Newby, 2017).

2.2.3 Constructivismo

El constructivismo se deriva de la segunda limitante conductista, cuyo eje central es el rol del estudiante como constructor del conocimiento por medio de la experiencia y el uso de las habilidades innatas (Tan y Ng, 2021); por lo tanto, el docente pasa a ser un guía y facilitador del aprendizaje.

Existen dos corrientes principales: la individual, que se centra en las estructuras cognitivas individuales del aprendizaje (Kazi y Galanaki, 2020; Ültanır, 2012). En contraste, la cooperativa se centra en la interacción social (McCaslin y Hickey, 2001) y sociocultural (Wertsch, 1997). Dentro de la corriente constructivista, las competencias de mayor valor por desarrollar son el pensamiento crítico y la resolución de problemas (Cooperstein y Kocevar-Weidinger, 2004; Lesgold, 2004).

Su base epistemológica es el constructivismo gnoseológico, que propone que el conocimiento no es descubierto, sino construido activamente por medio de las interacciones empíricas y sociales (Rasner, 2009).

2.2.3.1 Aprendizaje significativo. Es un tipo de aprendizaje constructivista planteado por Ausubel (1967) que se genera cuando el estudiante asocia nueva información con sus conocimientos previos, por lo que el aprendizaje y los conceptos aprendidos previamente se influyen mutuamente por medio de la asociación y el reconocimiento de patrones. Esto facilita la retención de la información por medio del análisis en lugar de hacerlo únicamente mediante la memorización (Mystakidis, 2021).

2.3 Aprendizaje activo

El aprendizaje activo es una metodología educativa que se centra en el estudiante, donde este tiene se encuentra ampliamente involucrado y es directamente participante del proceso de aprendizaje, mientras que el docente se encarga de ser un facilitador y guía (Alomá Bello et al., 2022; Bonwell y Eison, 1991). Este modelo pedagógico surgió como una reacción al aprendizaje pasivo, con el fin de cambiar el enfoque tradicional del aprendizaje basado en memorización hacia el procesamiento, el análisis y la aplicación de competencias (Muñoz et al., 2024)

De acuerdo con Bonwell y Eison (1991), se caracteriza principalmente por un menor énfasis en la transmisión de la información y la actividad oyente, lo que da espacio al desarrollo de las capacidades por parte de los estudiantes, los procesos de pensamiento de orden superior propios de la Taxonomía de Bloom (1956), las competencias argumentativas por medio de la producción textual, el debate y la reflexión (Espejo Leupin, 2016; Rossi et al., 2021).

Las corrientes de la psicología de la educación en las que se enmarca son el cognitivismo (Leiva, 2005) y en mayor medida, el constructivismo (Cooperstein y Kocevar-Weidinger, 2004).

2.3.1 Aprendizaje cooperativo y colaborativo

Tanto el aprendizaje colaborativo como el cooperativo hacen parte de los métodos de enseñanza que usan grupos pequeños, cuyos antecedentes pueden encontrarse en el

constructivismo social de Vygotsky (1978) y la teoría social del aprendizaje de Dewey (1940). De acuerdo con dicha teoría, el aprendizaje debe ser un proceso activo y dinámico, centrado en el estudiante y en sus habilidades sociales, como la comunicación interpersonal y su integración en grupos (Gillies y Ashman, 2003).

Mientras el aprendizaje cooperativo se centra en la interdependencia y en la división de roles dentro de un grupo para la realización de trabajos conjuntos (Johnson y Johnson, 2009; Tanner et al., 2003), el colaborativo agrupa a los estudiantes con objetivos comunes y generar respuestas a preguntas abiertas y complejas, enfatiza el pensamiento crítico y las competencias investigativas (Brown y Campione, 1994; Bruffee, 1995; Hmelo-Silver, 2004).

2.3.2 Aprendizaje basado en retos

El aprendizaje basado en retos surge como un método de aprendizaje colaborativo, en el que los estudiantes buscan resolver problemas complejos carentes de una única respuesta correcta y aplicables al ámbito real y profesional. El primer paso consta de identificar la información nueva, cuyo aprendizaje será necesario para resolver el problema, aplicarla, reflexionar sobre su aprendizaje y la efectividad de la resolución planteada (Hmelo-Silver, 2004).

Como forma de aprendizaje activo, el rol del docente consiste únicamente en guiar al estudiante durante el proceso de aprendizaje, en lugar de transmitir directamente el conocimiento, por lo que su objetivo es el desarrollo de habilidades cooperativas, resolución de problemas, aprendizaje autónomo y motivación intrínseca (Álvarez et al., 2013; Sawyer y Obeid, 2017; Suwono et al., 2019).

2.3.3 Aprendizaje híbrido

El uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en la educación a finales del siglo XX y principios del XXI ha dado pie al desarrollo de modelos de aprendizaje

híbrido, que constan de actividades que combinan las interacciones presenciales y las mediadas por medio de herramientas tecnológicas, como los ambientes virtuales de aprendizaje. Estas interacciones se dan entre estudiantes, maestros y recursos educativos (Bliuc et al., 2007). Este tipo de estrategias buscan optimizar el tiempo durante las clases y personalizar el aprendizaje de acuerdo a las necesidades de cada estudiante (Ortega Ferreira y Moreno Salamanca, 2016; Tahir et al., 2022).

Dos de las modalidades más relevantes de esta estrategia son el Just-in-Time Teaching (JiTT) y el aula invertida. En la primera, se parte del principio de que el estudiante debe prepararse antes de cada sesión por medio de actividades o lecturas previas al tema que será visto, lo que permite que el docente pueda centrarse en reforzar las dudas y necesidades del estudiante y en su retroalimentación inmediata (Marrs y Novak, 2004; Novak, 2011). Por otra parte, en la segunda, los estudiantes acceden al contenido teórico de la asignatura en horas de trabajo independiente, mientras que el tiempo de la clase se dedica a la resolución de problemas y la aplicación práctica del conocimiento adquirido previamente (Barker y Gossman, 2013; Bradley y Oliver, 2002).

2.3.4 Aprendizaje basado en juegos y gamificación

Otra estrategia pedagógica corresponde al aprendizaje lúdico, cuyo objetivo principal es el de generar un ambiente de inmersión para aumentar el involucramiento y la motivación del estudiante durante el proceso de aprendizaje, además de desarrollar competencias como la creatividad y el trabajo en equipo (Gutiérrez-Delgado et al., 2018; Hassinger-Das et al., 2017). Dentro de esta, se encuentran tanto el Aprendizaje Basado en Juegos (ABJ) como la gamificación.

La diferencia principal entre ambos métodos se enfoca en la manera de cómo abordan el juego dentro del ámbito educativo, a saber: en el ABJ, el juego es el centro del aprendizaje y se encuentra diseñado para enseñar conceptos y resolver problemas de forma interactiva, mientras

que la gamificación busca añadir elementos propios de los juegos a actividades no lúdicas, como puntos de experiencia, insignias, niveles, recompensas y desafíos, con el fin de hacer más atractivo el proceso de aprendizaje (Al-Azawi et al., 2016; Jayasinghe y Dharmaratne, 2013; Karagiorgas y Niemann, 2017).

2.4 El modelo pedagógico UIS

El modelo pedagógico vigente de la Universidad Industrial de Santander, titulado “UIS21”, fue aprobado en el Acuerdo 233 de 2021 y se adhiere principalmente a dos sistemas de valores educativos: el progresismo pedagógico, que busca un desarrollo intelectual superior por medio de la personalización del aprendizaje, que considera las necesidades e intereses del estudiante, y el reconstruccionismo, que se centra en la capacidad que las personas poseen para la transformación individual y social (Universidad Industrial de Santander [UIS], 2021).

Ambos derivan del pragmatismo filosófico, el cual postula que el conocimiento y los valores no son absolutos ni perennes, sino que están sujetos a revisión, por lo que el estudiante debe desarrollar el pensamiento crítico, la resolución de problemas y sus habilidades sociales con el fin de entender la realidad cambiante (Gutek, 2004; Plowright, 2016; Tan, 2006).

La influencia del constructivismo es notoria en los ámbitos meso y micro-curricular de este modelo pedagógico. En el primero, centrado en las estrategias didácticas, los planes de estudios de los programas y los procesos de desarrollo de competencias, se plantea desde un enfoque constructivo e inclusivo centrado en el aprendizaje. Por otra parte, el segundo que es el punto de articulación entre la enseñanza y el aprendizaje, que delimita la relación entre el profesor, el estudiante y el objeto de conocimiento, donde se entiende al proceso formativo como la construcción individual del conocimiento en lugar de ser transferido, lo que implica el reconocimiento de que las distancias entre lo conocido y lo no conocido pueden ser más amplias

para unos estudiantes que para otros. Esto hace hincapié en el valor del debate, la cooperación y otras instancias del aprendizaje (UIS, 2021).

2.5 La enseñanza de la Biología Celular en el contexto del Pregrado en Biología de la Universidad Industrial de Santander

Hasta antes de 2012, la asignatura Biología Celular, se impartía con un modelo de pedagogía tradicional. Del 2013 al 2014, la asignatura se diseñó con base en el constructivismo para la enseñanza de la Biología Celular, pero este modelo educativo no fue aceptado ni por los estudiantes ni por los directivos. En aras de buscar una estrategia intermedia, desde el año 2015 hasta la fecha, con el desarrollo de las TIC, la asignatura se ha impartido con una mezcla entre el sistema tradicional de aprendizaje, el aprendizaje basado en juegos y just-in-time teaching (López Ardila y Martínez Pérez, 2017).

2.6 Decreto 1330 de 2019

La expedición del Decreto 1330 del 2019 se llevó a cabo con el fin de regular los procesos de calidad académica de las instituciones de educación superior, con énfasis en las distintas modalidades que puede tener un programa académico, ya sea presencial, a distancia, virtual, dual u otras que integren más de una. Para tal fin, es necesaria una actualización en recursos didácticos y tecnológicos que permita dar respuesta a la modernización y transformación de las condiciones de la educación.

3. Metodología

3.1 Revisión del contenido teórico actual de la asignatura Biología Celular de la Escuela de Biología de la Universidad Industrial de Santander

A partir del contenido de la asignatura, se obtuvo del plan de estudios del año 2019 y se revisaron las competencias, el propósito, los temas del contenido teórico de la asignatura, las estrategias pedagógicas implementadas, las fechas de creación del plan de estudios, de la bibliografía y las referencias usadas.

Se compararon los ejes temáticos de la asignatura con los índices de libros de texto guía para la enseñanza de la Biología Celular (Alberts et al., 2022; Karp et al., 2019; Lodish et al., 2021) y de asignaturas afines, como Biología Molecular (Watson et al., 2016), Bioquímica (Cox y Nelson, 2021; Harper et al., 2022) y Genética (Klug, 2013; Pierce, 2019). Esto se realizó para determinar si los temas pertenecen únicamente a la Biología Celular, si se intersectan con el objeto de conocimiento de las áreas afines o si corresponden más a estas que a la asignatura que fue revisada.

Posteriormente, los temas de la asignatura se categorizaron de acuerdo con la lista de conceptos mínimos y esenciales de biología celular para programas biológicos y biomédicos de pregrado de Mermelstein y Costa (2017).

3.2 Selección y revisión de los temas fundamentales para la comprensión de la Biología Celular

Con base en la clasificación del apartado anterior, se seleccionaron y agruparon los conceptos fundamentales de la Biología Celular en cinco ejes temáticos: Las bases celulares de la vida, Diversidad Celular, Transporte Celular, Ciclo Celular e Integración de células en tejidos.

Aquellos que sirven de punto de intersección entre la Biología Celular, la Biología Molecular y la Bioquímica se verán reflejados como subtemas.

Se excluyó el contenido de Métodos en biología celular, porque corresponde al componente práctico de laboratorio, debido a que este trabajo busca diseñar una actualización de únicamente el componente teórico.

Por otra parte, se incluyó un sexto tema, llamado Fundamentos de Histología, con el fin de ser el fundamento teórico de la práctica de laboratorio de histología ya existente, que corresponde a la última del componente práctico de la asignatura (Martínez Pérez, 2021).

Posteriormente, se realizó una búsqueda bibliográfica de los nombres de los seis temas en bases de datos públicas: Google Scholar, PubMed, Scopus y Web of Science. Se seleccionaron los textos publicados en los últimos 5 años que más se relacionen con el contenido de la asignatura de Biología Celular.

3.3 Redacción de las competencias de aprendizaje

Se usaron las indicaciones dadas de formulación de competencias asociadas a resultados de aprendizaje mencionadas en el modelo pedagógico UIS21 (UIS, 2021), en las que se relaciona al sujeto de aprendizaje, que es el estudiante, con un verbo, que es la competencia a desarrollar y su resultado de aprendizaje. Los tipos de competencias que se redactaron son: cognitivas, que se relacionan con los procesos mentales que los estudiantes deben desarrollar, como analizar, evaluar y explicar. En segundo lugar, las procedimentales, que se enfocan en las destrezas y habilidades, como aplicar, comparar y contrastar. El tercer tipo son las actitudinales, que se refieren a la disposición y los juicios de valor del estudiante, como colaborar, comunicar y valorar.

3.4 Planteamiento del uso de las TIC como mediadoras del aprendizaje activo

Se diseñaron estrategias de aprendizaje activo por medio de las TIC, especialmente las de aula invertida, aprendizaje colaborativo y gamificación.

Para el aula invertida, se siguieron las 5 recomendaciones y buenas prácticas sugeridas por Tahir y colaboradores (2022): no incrementar la carga académica durante la transición a un formato híbrido de aprendizaje, introducir y brindar instrucciones a los estudiantes sobre el funcionamiento y el buen aprovechamiento del contenido del curso, usar videos de 6 a 9 minutos, incentivar el desarrollo de habilidades cognitivas de orden superior y que estas se vean reflejadas en el nivel de dificultad de las preguntas en las actividades y aprovechar las oportunidades que brinda el uso de videos antes de las sesiones para integrar y aplicar los conocimientos aprendidos.

Esto se aplicó en el diseño de los ambientes virtuales de la asignatura, que incluye diversos tipos de contenido multimedia. Para el Moodle, se seleccionaron videos cortos con una duración de 1 a 3 minutos de JoVE (<https://www-jove-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/>), una plataforma de recursos educativos de ciencias básicas disponible por medio del acceso a la biblioteca virtual de la Universidad Industrial de Santander. Se realizó una selección de videos por cada uno de los subtemas de la asignatura. A todos ellos se les asignó al menos un video de la plataforma JoVE, con excepción de los subtemas pertenecientes al tema “Fundamentos de histología”, ya que se asignaron únicamente 2 videos generales sobre tejidos animales y vegetales para toda la unidad.

Asimismo, también se seleccionó la lectura de artículos relacionados con los subtemas. Estos están pensados para leer dos veces a lo largo de la asignatura, ya que se enmarcan dentro de distintas unidades temáticas.

Para algunos de los subtemas, también se plantearon otros recursos complementarios TIC como simulaciones virtuales y modelos 3D de estructuras celulares.

También se planteó un segundo ambiente virtual de aprendizaje cuyo eje central es la gamificación, reflejado en la plataforma Habítica. Este permite realizar un seguimiento en tiempo real del progreso de los estudiantes, además de dividir los objetivos de aprendizaje en actividades cortas y secuenciales.

4. Resultados

4.1 Diagnóstico del contenido teórico en el programa actual de la asignatura Biología Celular

El contenido teórico de la asignatura se diseñó en el año 2010 y consta de 10 ejes temáticos: La vida comienza con las células; Estructura y función de las proteínas; Estructura, organización y función de los ácidos nucleicos; Biomembranas y sus funciones; Arquitectura celular; Integración de células en tejidos; Energética celular; Movimiento de proteínas en las membranas y en los organelos; Tránsito vesicular, secreción y endocitosis; y El ciclo celular eucarionte.

Mermelstein y Costa (2017) mencionan los contenidos que pertenecen estrictamente a la asignatura de Biología Celular, como lo son: la evolución en biología celular, los métodos en biología celular, el citoesqueleto y la motilidad celular, la adhesión y las uniones celulares, la síntesis de ARN y la regulación de la expresión génica, la estructura del núcleo, la síntesis y la degradación de proteínas, el retículo endoplásmico y el aparato de Golgi, el ciclo y la muerte celular, la señalización y la comunicación celular y la diferenciación celular. También señalan aquellos conceptos que, aunque pertenecen a la Biología Celular, pueden abordarse en asignaturas relacionadas como Bioquímica, Biofísica y Genética, los cuales son: las membranas, la replicación del ADN y las mitocondrias y conversión de energía.

Tabla 1

Clasificación de los temas y subtemas del plan vigente de la asignatura Biología Celular de acuerdo a los temas descritos por Mermelstein y Costa (2017) y por área principal de la biología.

Tema de la asignatura	Subtema de la asignatura	Tema descrito por Mermelstein y Costa (2017)	Áreas principales de la biología
<i>1. La vida comienza con las células</i>	1.1 Diversidad y concordancia de las células.	Evolución en biología celular	Biología celular
	1.2 Las moléculas de las células.	Evolución en biología celular*	Biología celular, Bioquímica
	1.3 El trabajo de las células.	Evolución en biología celular*	Biología celular
	1.4 Investigación de las células y sus partes.	Métodos en biología celular	Biología celular
<i>1. Estructura y función de las proteínas</i>	2.1 Estructura jerárquica de las proteínas.	Síntesis y degradación de proteínas	Bioquímica
	2.2 Plegamiento, modificación y degradación de las proteínas.	Síntesis y degradación de proteínas	Bioquímica
	2.3 Las enzimas y el trabajo químico de las células.	Síntesis y degradación de proteínas*	Biología celular, Bioquímica
	2.4 Los motores moleculares y el trabajo mecánico de las células.	Síntesis y degradación de proteínas*	Biología celular, Bioquímica
	2.5 Purificación, detección y caracterización de las proteínas.	Métodos en biología celular	Biología celular, Biología molecular, Bioquímica
<i>3. Estructura, organización y función de los ácidos nucleicos</i>	3.1 Estructura de los ácidos nucleicos.	Estructura del núcleo*	Bioquímica, Biología molecular
	3.2 Definición molecular de gen.	Replicación del ADN*	Biología molecular, Genética

	3.3 Organización cromosómica de los genes y del ADN no codificador.	Síntesis de ARN y regulación de la expresión génica	Biología molecular
	3.4 DNA móvil.	Síntesis de ARN y regulación de la expresión génica	Biología molecular
	3.5 Organización estructural de los cromosomas eucariontes.	Estructura del núcleo, Replicación del ADN*	Biología molecular, Genética
	3.6 Morfología y elementos funcionales de los cromosomas eucariontes.	Estructura del núcleo, Replicación del ADN*	Biología molecular
	3.7 ADN de los orgánulos.	Replicación del ADN*	Biología celular, Biología molecular
<i>4. Biomembranas y sus funciones</i>	4.1 Biomembranas: composición, organización estructural, componentes proteicos y funciones básicas.	Membranas	Biología celular
	4.2 Panorama general del transporte de membranas.	Membranas	Biología celular
	4.3 Bombas impulsadas por ATP y el ambiente iónico intracelular.	Membranas	Biología celular
	4.4 Canales iónicos no regulados y potenciales de membrana en reposo.	Membranas	Biología celular

	4.5 Cotransporte mediante simportadores y antiportadores.	Membranas	Biología celular
	4.6 Movimiento del agua	Membranas	Biología celular
	4.7 Transporte transepitelial.	Membranas	Biología celular
	4.8 Canales iónicos regulados por voltaje y propagación de potenciales de acción en las células nerviosas.	Membranas, Señalización y comunicación celular	Biología celular
	4.9 Neurotransmisores, receptores y proteínas transportadoras en la transmisión de señales en las sinapsis.	Membranas, Señalización y comunicación celular	Biología celular
<i>5. Arquitectura celular</i>	5.1 Orgánulos de la célula eucarionte.	Citoesqueleto y motilidad celular, Estructura del núcleo	Biología celular
	5.2 El citoesqueleto: componentes y funciones estructurales.	Citoesqueleto y motilidad celular	Biología celular
	5.3 Purificación de las células y sus partes.	Métodos en biología celular	Biología celular
	5.4 Visualización de la arquitectura celular.	Citoesqueleto y motilidad celular	Biología celular
<i>6. Integración de células en tejidos</i>	6.1 Adhesión entre células y entre célula y matriz: una visión general.	Adhesión y uniones celulares	Biología celular

	6.2 Tejidos epiteliales laminares: moléculas de unión y de adhesión.	Adhesión y uniones celulares	Biología celular
	6.3 La matriz extracelular de los tejidos no epiteliales.	Adhesión y uniones celulares	Biología celular
	6.4 Interacciones adhesivas y células no epiteliales.	Adhesión y uniones celulares	Biología celular
	6.5 Tejidos vegetales.	Adhesión y uniones celulares, Diferenciación celular	Biología celular
	6.6 Crecimiento y uso de los cultivos celulares.	Métodos en biología celular	Biología celular
<i>7. Energética celular</i>	7.1 Oxidación de la glucosa y de los ácidos grasos a CO ₂ .	Mitocondrias y conversión de energía	Bioquímica
	7.2 Transporte de electrones y generación de la fuerza protón-motriz.	Mitocondrias y conversión de energía	Biología celular, Bioquímica
	7.3 Generación de la fuerza protón-motriz para procesos que requieren energía.	Mitocondrias y conversión de energía	Biología celular, Bioquímica
	7.4 Etapas de la fotosíntesis y pigmentos que absorben luz.	Mitocondrias y conversión de energía*	Bioquímica
	7.5 Análisis molecular de los fotosistemas.	Mitocondrias y conversión de energía*	Bioquímica

	7.6 Metabolismo del CO ₂ durante la fotosíntesis.	Mitocondrias y conversión de energía*	Bioquímica
<i>8. Movimiento de proteínas en las membranas y en los organelos</i>	8.1 Translocación de proteínas secretorias a través de la membrana del RE.	Retículo endoplásmico y aparato de Golgi, Síntesis y degradación de proteínas	Biología celular
	8.2 Inserción de proteínas en la membrana del RE.	Retículo endoplásmico y aparato de Golgi, Síntesis y degradación de proteínas	Biología celular
	8.3 Modificaciones, plegados y control de calidad de las proteínas en el RE.	Retículo endoplásmico y aparato de Golgi, Síntesis y degradación de proteínas	Biología celular
	8.4 Salidas de proteínas bacterianas.	Síntesis y degradación de proteínas	Biología celular, Microbiología procariota
	8.5 Direccionamiento de proteínas a mitocondrias y cloroplastos.	Retículo endoplásmico y aparato de Golgi, Señalización y comunicación celular	Biología celular
	8.6 Direccionamiento de las proteínas peroxisómicas.	Retículo endoplásmico y aparato de Golgi, Señalización y comunicación celular	Biología celular
<i>9. Tránsito vesicular, secreción y endocitosis</i>	9.1 Técnicas para el estudio de las vías secretorias.	Retículo endoplásmico y aparato de Golgi, Métodos en biología celular	Biología celular
	9.2 Mecanismos moleculares del tránsito vesicular.	Retículo endoplásmico y aparato de Golgi	Biología celular

	9.3 Tránsito vesicular en las etapas iniciales de la vía secretoria.	Retículo endoplásmico y aparato de Golgi, Señalización y comunicación celular	Biología celular
	9.4 Clasificación y procesamiento de proteínas en las etapas finales de la vía secretoria.	Retículo endoplásmico y aparato de Golgi, Señalización y comunicación celular	Biología celular
	9.5 Endocitosis mediada por receptor y clasificación de las proteínas internalizadas.	Retículo endoplásmico y aparato de Golgi, Señalización y comunicación celular	Biología celular
	9.6 Formación y función de las vesículas sinápticas.	Retículo endoplásmico y aparato de Golgi, Señalización y comunicación celular	Biología celular
	10.1 Panorama general del ciclo celular y su control.	Ciclo celular y muerte celular	Biología celular
	10.2 Estudios bioquímicos con ovocitos, huevos y embriones tempranos.	Ciclo celular y muerte celular, Métodos en biología celular	Biología celular, Biología del desarrollo
10. El ciclo celular eucarionte	10.3 Estudios genéticos con <i>Saccharomyces pombe</i> .	Ciclo celular y muerte celular, Métodos en biología celular	Biología celular, Genética
	10.4 Mecanismos moleculares de regulación de los eventos mitóticos.	Ciclo celular y muerte celular	Biología celular
	10.5 Estudios genéticos con <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .	Ciclo celular y muerte celular, Métodos en biología celular	Biología celular, Genética

10.6 Control del ciclo celular en células de mamíferos.	Ciclo celular y muerte celular	Biología celular
10.7 Puntos de control en la regulación del ciclo celular.	Ciclo celular y muerte celular	Biología celular
10.8 Meiosis: un tipo especial de división celular.	Ciclo celular y muerte celular	Biología celular, Genética
10.9 Nacimiento, linaje y muerte de la célula.	Ciclo celular y muerte celular	Biología celular
10.10 Cáncer.	Ciclo celular y muerte celular	Biología celular

Nota. * No se enmarca completamente en uno de los temas planteados por Mermelstein y Costa (2017) aunque es afín a al menos uno de ellos. La primera columna contiene los ejes temáticos de la asignatura; la segunda, los subtemas; la tercera, el tema mencionado por Mermelstein y Costa (2017) al que pertenecen; mientras que la cuarta, a las áreas de la Biología a las que pertenecen.

Las estrategias pedagógicas implementadas en la asignatura son principalmente modalidades de aprendizaje activo: el *just-in-time teaching* y el aprendizaje basado en juegos. Asimismo, el componente práctico de laboratorio de la asignatura permite que los estudiantes se familiaricen con las aplicaciones de los conceptos teóricos.

4.2 Selección y revisión bibliográfica de los conceptos fundamentales del curso de Biología Celular

Los temas que se seleccionaron como ejes temáticos son los siguientes: Las bases celulares de la vida, la diversidad celular, el transporte celular, el ciclo celular, la integración de células en

tejidos y fundamentos de histología. Posteriormente, se revisaron un total de 152 artículos científicos publicados entre 2018 y 2024 correspondientes a todas las unidades de la asignatura.

La revisión bibliográfica se encuentra en el Apéndice B.

4.2.1 Temas y subtemas de la asignatura.

4.2.1.1 Las bases celulares de la vida. Consta de los siguientes subtemas: Las moléculas de la vida; La compartimentalización de la vida; La Teoría Celular y Los fundamentos celulares de la diversidad biológica.

4.2.1.2 Diversidad celular. Consta de los siguientes subtemas: Las primeras células; La teoría de la endosimbiosis celular y Arquitectura celular eucariota.

4.2.1.3 Transporte celular. Consta de los siguientes subtemas: Movimiento de las moléculas a través de las células: Difusión y Ósmosis; Proteínas para la entrada y salida de moléculas de las células; Los motores moleculares de la célula; El potencial de acción celular; Transporte de vesículas en las células; Secreción celular; Movimiento de proteínas dentro de las células y Transducción de señales celulares.

4.2.1.4 Ciclo celular. Consta de los siguientes subtemas: Proteínas reguladoras del ciclo celular; Etapas del ciclo celular; Detención y envejecimiento celular; La mitosis y La meiosis.

4.2.1.5 Integración de células en tejidos. Consta de los siguientes subtemas: Los orígenes de la multicelularidad y la pluricelularidad; La matriz extracelular; Uniones célula-célula y célula-matriz; Unión y adhesión en tejidos y Potencia y diferenciación celular.

4.2.1.6 Fundamentos de histología. Consta de los siguientes subtemas: Epitelios animales; Tejido conectivo; Tejido muscular; Tejido neural; Epidermis vegetal; Tejido vascular; Tejidos vegetales fundamentales y Tejido meristemático.

4.3 Competencias de aprendizaje

Se redactaron las competencias de aprendizaje que permitirán la comprensión de los conceptos fundamentales seleccionados en el apartado anterior, así como también los subtemas.

4.3.1 Competencias generales de la asignatura

Valora la importancia de la Biología Celular como base fundamental para comprender los procesos biológicos a nivel superior y su relevancia en las demás ramas de la Biología. Corresponde a una competencia actitudinal.

Desarrolla una actitud crítica ante la información científica y los avances de la Biología Celular, la calidad de las fuentes y la solidez de los argumentos. Corresponde a una competencia actitudinal.

Demuestra la capacidad de investigar, analizar y sintetizar información científica relevante sobre dos temas de la Biología Celular, mediante una revisión bibliográfica que demuestre una comprensión profunda de los conceptos teóricos y su aplicación práctica. Corresponde a una competencia procedimental que se propone evaluar por medio de la realización de un proyecto final que se realice en grupos de 3 personas, en el que los estudiantes expongan un problema de investigación relevante que se relacione con al menos 2 de los ejes temáticos de la asignatura.

4.3.2 Competencias por eje temático

El diseño pedagógico que incluye los ejes temáticos como unidades de la asignatura, los subtemas y las respectivas competencias se encuentra esquematizado en la Tabla 5.

4.3.2.1 Competencias de las bases celulares de la vida. Evalúa la importancia de las biomoléculas a nivel estructural y funcional en las células, relacionándolas con las propiedades de la vida y los postulados de la Teoría Celular. Corresponde a una competencia cognitiva y se asocia

con los subtemas “Las moléculas de la vida”, “La compartimentalización de la vida” y “La Teoría Celular”.

Analiza el papel de las variaciones ultraestructurales de las células en la diversidad morfológica y fisiológica de los seres vivos. Corresponde a una competencia cognitiva y se asocia con el subtema “Los fundamentos celulares de la diversidad biológica”.

4.3.2.2 Competencias de diversidad celular. Compara y contrasta la estructura y función de células procariontas y eucariontas, enfatizando en el rol de la teoría endosimbiótica y los organelos como promotores de la diversidad de la arquitectura celular. Corresponde a una competencia procedimental y se asocia con los subtemas “Las primeras células”, “La teoría de la endosimbiosis celular” y “La arquitectura celular eucariota”.

4.3.2.3 Competencias de transporte celular. Compara y contrasta los procesos de transporte pasivo y su importancia en procesos fisiológicos como la regulación osmótica y el mantenimiento del potencial de membrana. Corresponde a una competencia procedimental y se asocia con los subtemas “Movimiento de moléculas a través de las células: la Difusión y la Ósmosis” y “Proteínas para la entrada y salida de moléculas en las células”.

Comprende los mecanismos bioquímicos del gradiente electroquímico y su importancia en el transporte activo de iones para el funcionamiento de las proteínas bomba y la síntesis de ATP en mitocondrias y cloroplastos. Corresponde a una competencia cognitiva y se asocia con los subtemas “Los motores moleculares de la célula” y “El potencial de acción celular”.

Compara y contrasta los diferentes tipos de transporte vesicular, relacionándolos con procesos celulares, como la secreción de hormonas, la ingestión de partículas y la renovación de la membrana celular. Corresponde a una competencia procedimental y se asocia con los subtemas “Transporte de vesículas dentro de las células” y “Secreción celular”.

Explica los mecanismos de transporte de proteínas a través de las membranas internas de la célula y su importancia en los procesos de señalización y ubiquitinación. Corresponde a una competencia cognitiva y se asocia con el subtema “Movimiento de proteínas dentro de las células”.

Analiza la función de los receptores y segundos mensajeros en los procesos dependientes de la transducción de señales como la proliferación y el crecimiento celular. Corresponde a una competencia cognitiva y se asocia con el subtema “Transducción de señales celulares”.

4.3.2.4 Competencias de ciclo celular. Explica el funcionamiento de los complejos CDK-ciclina en la regulación del progreso y los mecanismos moleculares de los puntos de control del ciclo celular. Corresponde a una competencia cognitiva y se asocia con los subtemas “Proteínas reguladoras del ciclo celular”, “Etapas del Ciclo Celular” y “Detención y envejecimiento celular”.

Describe las etapas de la mitosis y comprende los mecanismos que permiten una distribución equitativa de los cromosomas a las células hijas. Corresponde a una competencia cognitiva y se asocia con el subtema “La mitosis”.

Compara y contrasta la mitosis y la meiosis y hace énfasis en los mecanismos de recombinación cromosómica, su importancia en la variabilidad genética y los errores de división celular. Corresponde a una competencia procedimental y se asocia con los subtemas “La mitosis” y “La meiosis”.

4.3.2.5 Competencias de la integración de células en tejidos. Analiza los mecanismos bioquímicos que dieron origen a la multicelularidad, la formación de colonias celulares, la especialización de roles y las implicaciones de la unicelularidad y la multicelularidad. Corresponde a una competencia cognitiva y se asocia con el subtema “Los orígenes de la multicelularidad y la pluricelularidad”.

Describe el papel de las uniones celulares y la matriz extracelular en la comunicación celular y la formación y mantenimiento de los tejidos. Corresponde a una competencia cognitiva y se asocia con los subtemas “La matriz extracelular” y “Uniones célula-célula y célula-matriz”.

Analiza los mecanismos moleculares detrás de la diferenciación de las células y su organización en tejidos. Corresponde a una competencia cognitiva y se asocia con los subtemas “Unión y adhesión en tejidos” y “Potencia y diferenciación celular”.

4.3.2.6 Competencia de fundamentos de histología. Identifica y compara las características estructurales y funcionales de los tejidos fundamentales de organismos animales y vegetales en preparaciones histológicas. Corresponde a una competencia procedimental y se asocia con los subtemas “Epitelios animales”, “Tejido muscular”, “Tejido conectivo”, “Tejido neural”, “Epidermis vegetal”, “Tejido vascular”, “Tejidos vegetales fundamentales” y “Tejido meristemático”.

4.4 Diseño del ambiente virtual de aprendizaje de la asignatura Biología Celular

Los recursos del ambiente virtual de aprendizaje de la asignatura de Biología Celular del Pregrado en Biología de la Universidad Industrial de Santander fueron diseñados para dos plataformas: la versión 4.4 de Moodle de la UIS y el software de gamificación “Habitica”.

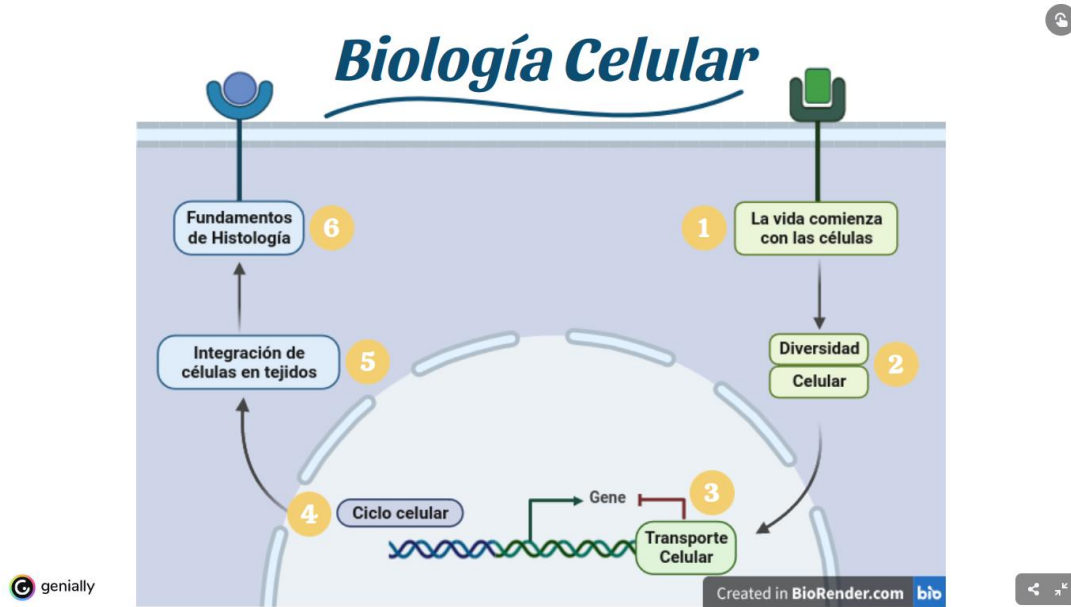
4.4.1 Moodle

El Moodle de la asignatura es un repositorio virtual de los recursos del curso, tales como artículos, diapositivas, foros, videos y demás contenido multimedia.

4.4.1.1 Índice interactivo de la asignatura. Primeramente, se realizó un índice interactivo con los contenidos y ejes temáticos de la asignatura, usando la plataforma Genial.ly e imágenes obtenidas del software de ilustración científica BioRender. Esto se realizó para todas las unidades del curso. El ejemplo del índice general se encuentra en las figuras 1 y 2.

Figura 1

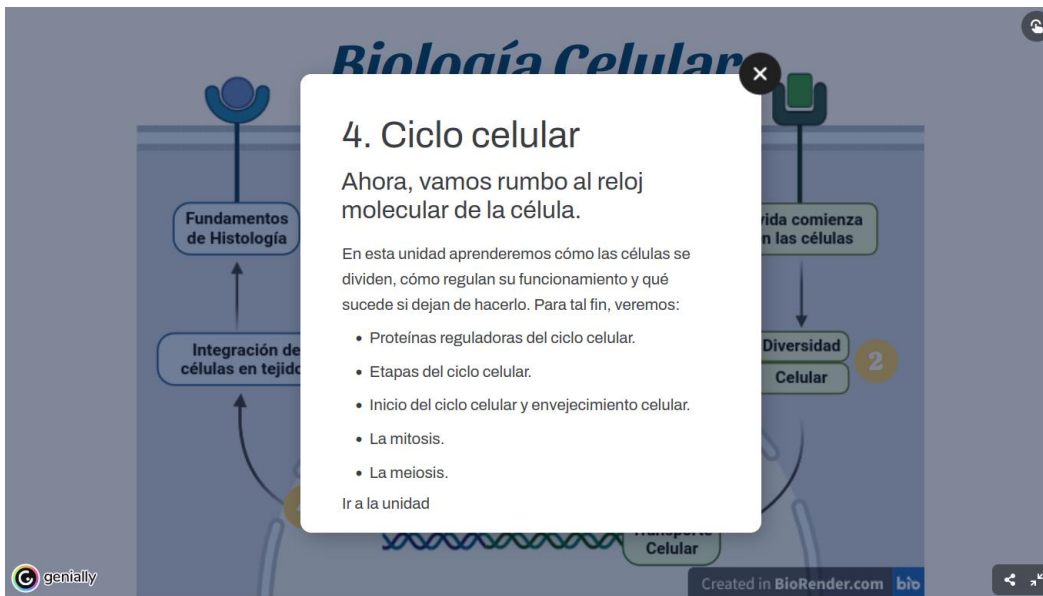
Índice interactivo del aula virtual de la asignatura Biología Celular



Nota: las imágenes fueron tomadas de la plataforma BioRender, mientras que los elementos interactivos del índice se realizaron con Genial.ly. Dar clic a cada uno de los números muestra los contenidos de la unidad.

Figura 2

Elemento interactivo desplegable de la cuarta unidad de la asignatura: "Ciclo celular".

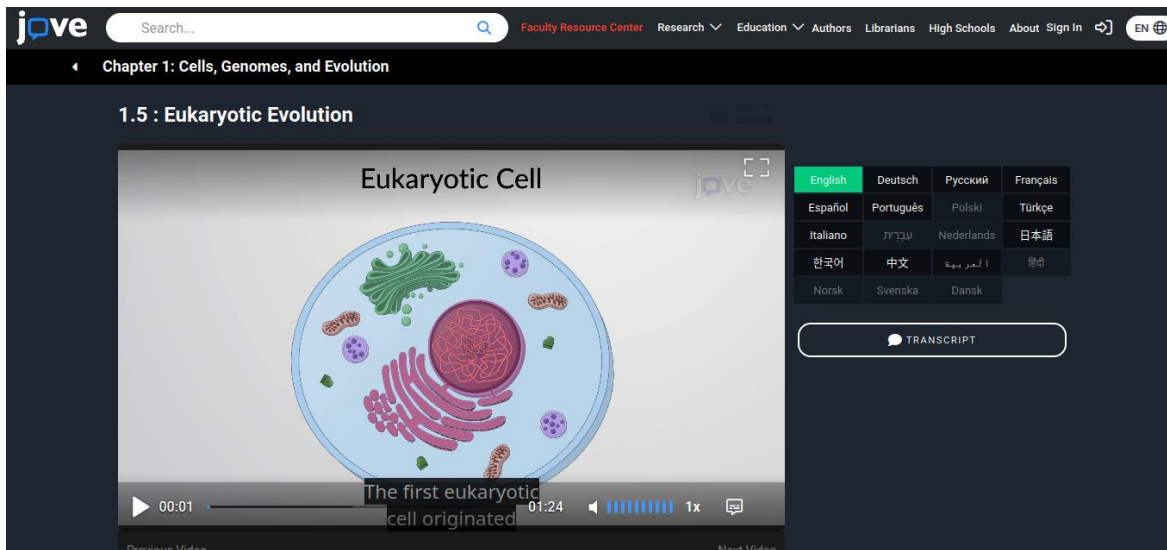


Nota: el menú desplegable contiene el propósito de aprendizaje y los subtemas de la unidad.

4.4.1.2 Recursos previos a las sesiones de clase. Los recursos previos a las sesiones son los que pertenecen a la plataforma Moodle, como los videos seleccionados que se encuentran en la Figura 3.; los artículos, las simulaciones y demás recursos multimedia.

Figura 3

Video de la plataforma JoVE acerca de la evolución en eucariotas.



Nota: Es el noveno video de la asignatura y se escogió para el tema “La teoría de la endosimbiosis celular”. La plataforma permite cambiar el idioma de la voz y de los subtítulos. El acceso a todos los contenidos de la plataforma es otorgado por la Biblioteca de la Universidad Industrial de Santander. Tomado de: Journal of Visualized Experiments (JoVE). (s.f.). Eukaryotic Evolution <https://app-jove-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/science-education/v/12437/concepts/eukaryotic-evolution>

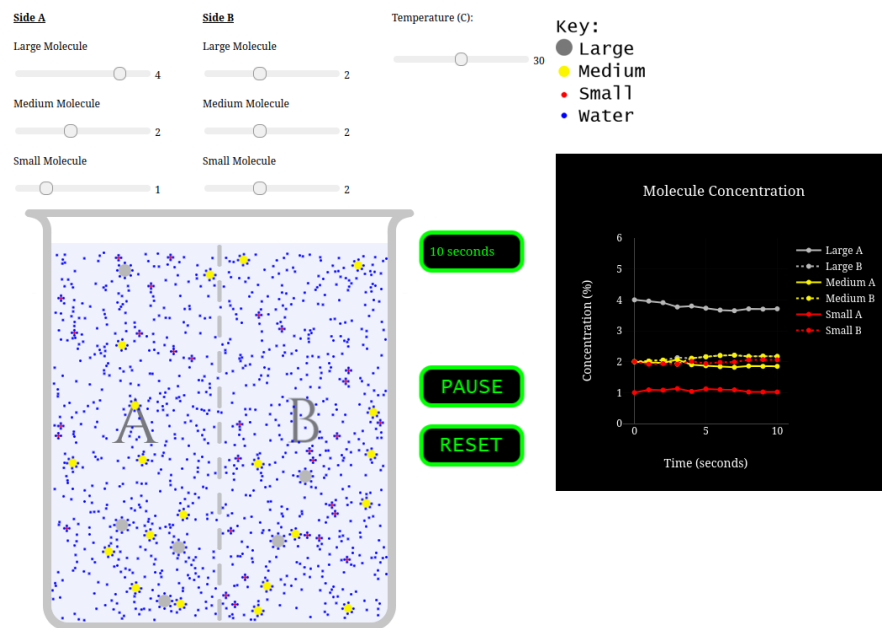
Los artículos que se escogieron de lectura previa a las sesiones de clase están planeados para leerse 2 veces a lo largo de la asignatura, tal como la publicación titulada “Retrograde signals from endosymbiotic organelles: a common control principle in eukaryotic cells” de Pfannschmidt y colaboradores (2020) se enmarca en 2 subtemas de la asignatura, que son “La teoría de la endosimbiosis celular” y “Señalización celular”. Dado que son temas que se encuentran en unidades diferentes, se recomienda que la primera lectura conste de los 3 primeros títulos y asigne de forma previa a la clase correspondiente a “La teoría de la endosimbiosis celular”, mientras que los títulos 4 a 10 puedan retomarse de nuevo en el subtema de “Señalización celular”.

Otros recursos virtuales que se sugieren son simulaciones y modelos 3D, como se muestran en las Figuras 4 y 5. Para una lista completa de los recursos TIC sugeridos por subtema, dirigirse al Apéndice C.

Se recomienda que se realicen controles de realización de actividades previas a la clase con cuestionarios cortos en los primeros 5 minutos de la sesión mediante la plataforma “Kahoot!” como se muestra en la Figura 6.

Figura 4

Simulación de ósmosis y difusión. Disponible en “Biology Simulations”.

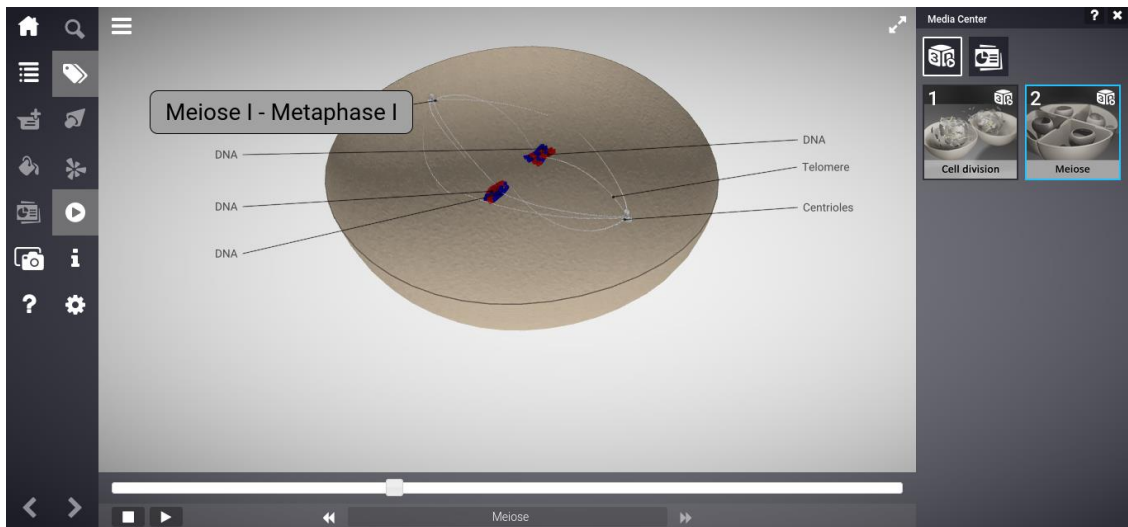


Nota: la simulación muestra el movimiento de las moléculas a lo largo del tiempo, además que permite observar los cambios de acuerdo al tamaño de las moléculas y la temperatura del medio. Tomado de: Biology Simulations LLC. (s.f.). Diffusion and Osmosis.

<https://www.biologysimulations.com/diffusion-osmosis>

Figura 5

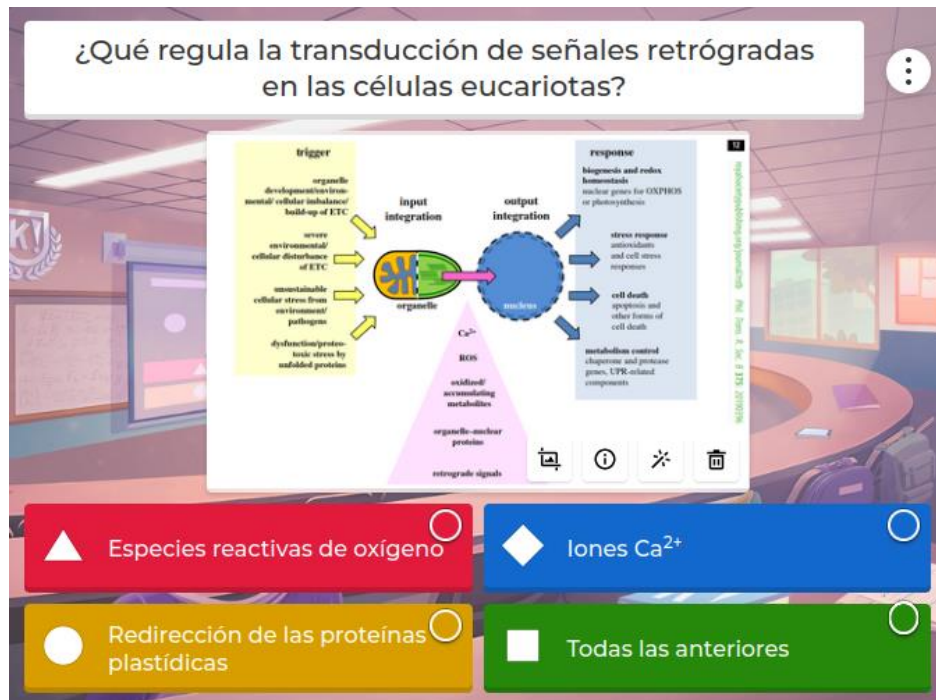
Modelo 3D de una célula animal en la Profase I de la Meiosis con etiquetas. Disponible en Effigos.



Nota: el modelo permite seleccionar entre la célula animal y vegetal, usar un modo de presentación, personalizar las etiquetas, visualizar los organelos y el paso a paso de la división celular. Disponible en <https://cell.effigos.com/>

Figura 6

Ejemplo de pregunta para el control de lectura de los títulos del 4 al 10 del artículo “Retrograde signals from endosymbiotic organelles: a common control principle in eukaryotic cells” (Pfannschmidt et al., 2020).



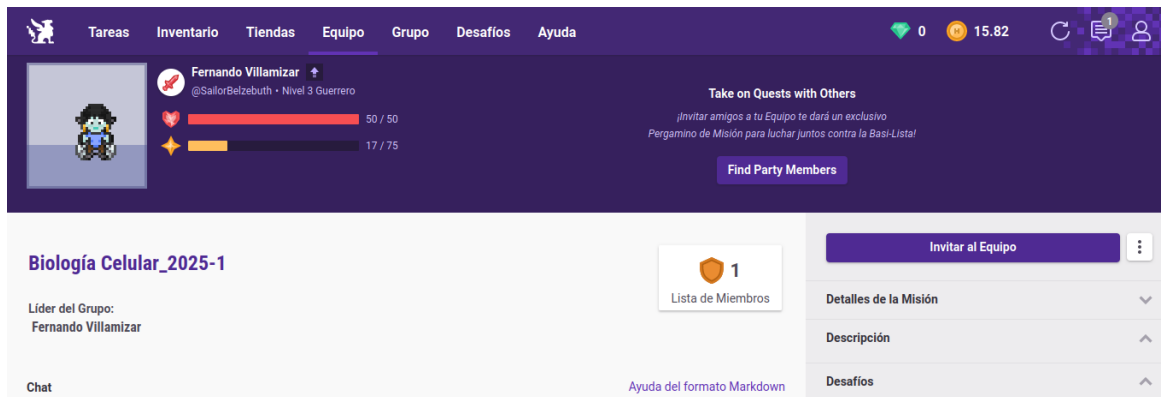
Nota: este control de lectura está pensado para el subtema “Transducción de señales celulares”.

4.4.2 Habitica

El ambiente virtual de aprendizaje planteado por medio de la plataforma Habitica se planteó como complementario al Moodle. Este se encuentra como un Equipo al que los estudiantes pueden unirse y deben completar ciertos desafíos como se muestra en las Figuras 7, 8 y 9.

Figura 7

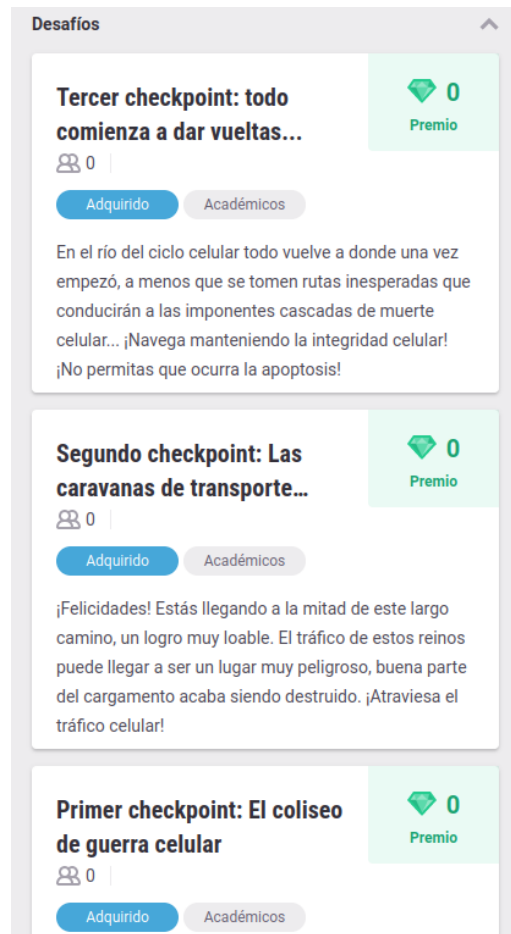
Pantalla de inicio del grupo correspondiente a la asignatura de Biología Celular en la plataforma Habitica.



Nota: Habitica permite crear y personalizar un avatar a cada uno de los participantes, además de comunicación general entre los miembros de un equipo.

Figura 8

Lista de desafíos planteados en la plataforma de gamificación Habitica para la asignatura de Biología Celular



Nota: cada uno de los checkpoints corresponde a los parciales y al proyecto final. Todos tienen una serie de actividades que deben concretarse para superar el desafío.

Figura 9

Lista de actividades pendientes del proyecto final de aula, que corresponde al desafío titulado “Último desafío: ¡Batalla por equipos contra el Jefe Final”.

The screenshot shows a digital challenge management interface. At the top, it displays 'Mis desafíos' and 'Descubrir Desafíos'. The main title is 'Último desafío: ¡Batalla por equipos contra el Jefe Final!'. Below the title, it indicates 'Creado por: Fernando Villamizar' and 'Equipo: Biología Celular_2025-1'. There are two statistics: 'Participantes' (0) and 'Premio' (0). A dropdown menu for 'Ver el Progreso de' is set to 'Seleccionar un Participante', and a green 'Añadir tarea' button is visible. The 'Pendientes' section shows three tasks:

- Elige tu equipo de combate: presentación de la batalla** (02/08/2025): El desafío final puede resultar intimidante, pero no irás solo ni desarmado. Escogerás tu armadura, tu caballo y tu equipo en esta gran aventura.
- El bosque encantado: ¡A mitad de camino!** (03/12/2025): Más difícil que iniciar, es mantenerse en la senda del camino. Este es el momento perfecto para sentarte en la hoguera a mirar todo lo que has recorrido y lo que te falta para llegar al objetivo final ¡No bajes la guardia!
- ¡Batalla Final!** (03/03/2025): ¡El desafío final está aquí! Este es el momento para el que tu equipo y tú se han preparado durante incontables días y largas noches. ¡Mantén la guardia y busca la victoria!

Nota: este corresponde al desafío del proyecto final. Cada una de las actividades pendientes tiene límites de tiempo y deben concretarse de forma secuencial. El primer pendiente corresponde a la selección de los temas y los equipos; el segundo, la muestra de avances, y el tercero, la preparación para la sustentación del proyecto final. A su vez, la plataforma permite ver el progreso de cada uno de los participantes.

5. Conclusiones

El contenido teórico de la asignatura se encuentra pendiente de actualización y debe revisarse periódicamente debido a la naturaleza acelerada del avance científico en la Biología Celular.

Es necesario que los temas de la asignatura se encuentren interconectados entre sí y entre las asignaturas afines, de tal modo que permita la asociación de los conceptos, con el fin de desarrollar competencias de orden superior y facilitar la retención de la información.

Las herramientas de aprendizaje activo articuladas con las TIC son una ayuda pedagógica importante tanto para el docente como para el estudiante, ya que permite superar las limitaciones del tiempo de clase, además de aumentar el involucramiento del estudiante con el material didáctico.

La gamificación en el aula usando las TIC resulta una estrategia didáctica importante debido a que permite una retroalimentación secuencial y en tiempo real del trabajo del estudiante, además de fomentar el trabajo autónomo y la gestión independiente del tiempo dedicado a las actividades.

Referencias Bibliográficas

- Abriata, L. A. (2022). How Technologies Assisted Science Learning at Home During the COVID-19 Pandemic. *DNA and Cell Biology*, 41(1), 19-24.
- Ahmed, H y Rahman, L. (2022). Active Learning Framework and Process of Classroom Engagement A Literature Review.
- Aikens, M. L. (2020). Meeting the Needs of A Changing Landscape: Advances and Challenges in Undergraduate Biology Education. *Bulletin of Mathematical Biology*, 82(5), 60. <https://doi.org/10.1007/s11538-020-00739-6>
- Akpan, B. (2020). Classical and Operant Conditioning—Ivan Pavlov; Burrhus Skinner. En B. Akpan y T. J. Kennedy (Eds.), *Science Education in Theory and Practice: An Introductory Guide to Learning Theory* (pp. 71–84). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43620-9_6
- Al Halawani, A., Mithieux, S. M., Yeo, G. C., Hosseini-Beheshti, E. y Weiss, A. S. (2022). Extracellular Vesicles: Interplay with the Extracellular Matrix and Modulated Cell Responses. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/ijms23063389>
- Al-Azawi, R., Al-Faliti, F. y Al-Blushi, M. (2016). Educational Gamification Vs. Game Based Learning: Comparative Study. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 131–136. <https://doi.org/10.18178/ijimt.2016.7.4.659>
- Alberts, B., Bray, D., Hopkin, K., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K. y Walter, P. (2006). *Introducción a la Biología Celular*. (2ª Edición). Editorial Médica Panamericana.
- Alberts, B., Heald. R., Hopkin, K., Johnson, A., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K. y Walter, P.

- (2022). *Molecular Biology of The Cell*. (7ª Edición). W. W. Norton & Company.
- Allen, D. y Tanner, K. (2002). Approaches to Cell Biology Teaching: Questions about Questions. *Cell Biology Education*, 1(3), 63-67. <https://doi.org/10.1187/cbe.02-07-0021>
- Allen, D. y Tanner, K. (2005). Infusing Active Learning into the Large-enrollment Biology Class: Seven Strategies, from the Simple to Complex. *Cell Biology Education*, 4(4), 262-268. <https://doi.org/10.1187/cbe.05-08-0113>
- Alomá Bello, M., Crespo Díaz, L. M., González Hernández, K. y Estévez Pérez, N. (2022). Fundamentos cognitivos y pedagógicos del aprendizaje activo. *Mendive. Revista de Educación*, 20(4), 1353–1368.
- Álvarez, C., Fernández, A., Llosa, J. y Sánchez-Carracedo, F. (2013). *Aprendizaje activo basado en problemas*. Asociación de Enseñantes Universitarios de la Informática (AENUI). <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/126280>
- Angulo-Urarte, A., van der Wal, T. y Huveneers, S. (2020). Cell-cell junctions as sensors and transducers of mechanical forces. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, 1862(9), 183316. <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2020.183316>
- Antifeeva, I. A., Fonin, A. V., Fefilova, A. S., Stepanenko, O. V., Povarova, O. I., Silonov, S. A., Kuznetsova, I. M., Uversky, V. N. y Turoverov, K. K. (2022). Liquid–liquid phase separation as an organizing principle of intracellular space: Overview of the evolution of the cell compartmentalization concept. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 79(5), 251. <https://doi.org/10.1007/s00018-022-04276-4>
- Arbel-Eden, A. y Simchen, G. (2019). Elevated Mutagenicity in Meiosis and Its Mechanism. *BioEssays*, 41(4), 1800235. <https://doi.org/10.1002/bies.201800235>
- Arias, A., Lozano, A. B., Cabanach, R. G. y Pérez, J. C. N. (1999). *LAS ESTRATEGIAS DE*

APRENDIZAJE. REVISION TEORICA y CONCEPTUAL. 31(3), 425–461.

- Ausubel, D., Novak, J. y Hanesian, H. (1968). *Psicología educativa: Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas. 1º ed. *Educational Psychology: A Cognitive View. New York: Holt, Rinehart & Winston.*
- Ausubel, D. P. (1967). Learning theory and classroom practice. *Ontario Institute for Studies in Education Bulletin, 1*, 31–31.
- Bajpai, A., Tong, J., Qian, W., Peng, Y. y Chen, W. (2019). The Interplay Between Cell-Cell and Cell-Matrix Forces Regulates Cell Migration Dynamics. *Biophysical Journal, 117(10)*, 1795–1804. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2019.10.015>
- Baken, E. K., Adams, D. C. y Rentz, M. S. (2022). Jigsaw method improves learning and retention for observation-based undergraduate biology laboratory activities. *Journal of Biological Education, 56(3)*, 317-322. <https://doi.org/10.1080/00219266.2020.1796757>
- Balsalobre, A. y Drouin, J. (2022). Pioneer factors as master regulators of the epigenome and cell fate. *Nature Reviews Molecular Cell Biology, 23(7)*, 449–464. <https://doi.org/10.1038/s41580-022-00464-z>
- Barker, J. y Gossman, P. (2013). The learning impact of a virtual learning environment: Students' views. *Teacher Education Advancement Network Journal (TEAN), 5(2)*, Article 2.
- Benarroch, J. M. y Asally, M. (2020). The Microbiologist's Guide to Membrane Potential Dynamics. *Trends in Microbiology, 28(4)*, 304–314. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2019.12.008>
- Berliner, D. C. (1993). The 100-year journey of educational psychology: From interest, to disdain, to respect for practice. En *Exploring applied psychology: Origins and critical*

analyses (pp. 37–78). American Psychological Association.

<https://doi.org/10.1037/11104-002>

Bhagwat, N. R., Owens, S. N., Ito, M., Boinapalli, J. V., Poa, P., Ditzel, A., Kopparapu, S., Mahalawat, M., Davies, O. R., Collins, S. R., Johnson, J. R., Krogan, N. J. y Hunter, N. (2021). SUMO is a pervasive regulator of meiosis. *eLife*, *10*, e57720.

<https://doi.org/10.7554/eLife.57720>

Bich, L., Pradeu, T. y Moreau, J.-F. (2019). Understanding Multicellularity: The Functional Organization of the Intercellular Space. *Frontiers in Physiology*, *10*.

<https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01170>

Biology Simulations LLC. (s.f.). Diffusion and Osmosis.

<https://www.biologysimulations.com/diffusion-osmosis>

Birgisdottir, Á. B. y Johansen, T. (2020). Autophagy and endocytosis – interconnections and interdependencies. *Journal of Cell Science*, *133*(10), jcs228114.

<https://doi.org/10.1242/jcs.228114>

Blackford, A. N. y Stucki, M. (2020). How Cells Respond to DNA Breaks in Mitosis. *Trends in Biochemical Sciences*, *45*(4), 321–331. <https://doi.org/10.1016/j.tibs.2019.12.010>

Bliuc, A.-M., Goodyear, P. y Ellis, R. A. (2007). Research focus and methodological choices in studies into students' experiences of blended learning in higher education. *The Internet and Higher Education*, *10*(4), 231–244. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2007.08.001>

Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals*. Longmans, Green.

Bludau, I. y Aebersold, R. (2020). Proteomic and interactomic insights into the molecular basis of cell functional diversity. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, *21*(6), 327–340.

<https://doi.org/10.1038/s41580-020-0231-2>

- Bonwell, C. C. y Eison, J. A. (1991). *Active Learning: Creating Excitement in the Classroom*. 1991 ASHE-ERIC Higher Education Reports. ERIC Clearinghouse on Higher Education, The George Washington University, One Dupont Circle, Suite 630, Washington, DC 20036-1183 (\$17. <https://eric.ed.gov/?id=ED336049>)
- Bradley, C. y Oliver, M. (2002). The evolution of pedagogic models for work-based learning within a virtual university. *Computers & Education*, 38(1), 37–52.
[https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(01\)00078-1](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(01)00078-1)
- Brown, A. L. y Campione, J. C. (1994). Guided discovery in a community of learners. En *Classroom lessons: Integrating cognitive theory and classroom practice*. MIT Press/Bradford Books.
- Bruffee, K. A. (1995). Sharing Our Toys: *Cooperative Learning Versus Collaborative Learning*. *Change: The Magazine of Higher Learning*, 27(1), 12–18.
<https://doi.org/10.1080/00091383.1995.9937722>
- Campàs, O., Noordstra, I. y Yap, A. S. (2024). Adherens junctions as molecular regulators of emergent tissue mechanics. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 25(4), 252–269.
<https://doi.org/10.1038/s41580-023-00688-7>
- Chaigne, A. y Brunet, T. (2022). Incomplete abscission and cytoplasmic bridges in the evolution of eukaryotic multicellularity. *Current Biology*, 32(8), R385–R397.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.03.021>
- Cheng, X. y Smith, J. C. (2019). Biological Membrane Organization and Cellular Signaling. *Chemical Reviews*, 119(9), 5849–5880. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00439>
- Childers, T., Hvorecký, J. y Majer, O. (2023). Empiricism in the foundations of cognition. *AI &*

- SOCIETY*, 38(1), 67–87. <https://doi.org/10.1007/s00146-021-01287-w>
- Chomicki, G., Werner, G. D. A., West, S. A. y Kiers, E. T. (2020). Compartmentalization drives the evolution of symbiotic cooperation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1808), 20190602. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0602>
- Chow, L. W. C. y Leung, Y.-M. (2020). The versatile Kv channels in the nervous system: Actions beyond action potentials. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 77(13), 2473–2482. <https://doi.org/10.1007/s00018-019-03415-8>
- Chuntharpursat-Bon, E., Povstyan, O. V., Ludlow, M. J., Carrier, D. J., Debant, M., Shi, J., Gaunt, H. J., Bauer, C. C., Curd, A., Simon Futers, T., Baxter, P. D., Peckham, M., Muench, S. P., Adamson, A., Humphreys, N., Tumova, S., Bon, R. S., Cubbon, R., Lichtenstein, L. y Beech, D. J. (2023). PIEZO1 and PECAM1 interact at cell-cell junctions and partner in endothelial force sensing. *Communications Biology*, 6(1), 1–18. <https://doi.org/10.1038/s42003-023-04706-4>
- Clark, R. E. (2004). The classical origins of Pavlov’s conditioning. *Integrative Physiological & Behavioral Science*, 39(4), 279–294. <https://doi.org/10.1007/BF02734167>
- Combarous, Y. y Nguyen, T. M. D. (2020). Cell Communications among Microorganisms, Plants, and Animals: Origin, Evolution, and Interplays. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/ijms21218052>
- Conway, J. R. W. y Jacquemet, G. (2019). Cell matrix adhesion in cell migration. *Essays in Biochemistry*, 63(5), 535–551. <https://doi.org/10.1042/EBC20190012>
- Cooperstein, S. E. y Kocevar-Weidinger, E. (2004). Beyond active learning: A constructivist approach to learning. *Reference Services Review*, 32(2), 141–148. <https://doi.org/10.1108/00907320410537658>

- Cornwallis, C. K., Svensson-Coelho, M., Lindh, M., Li, Q., Stábile, F., Hansson, L.-A. y Rengefors, K. (2023). Single-cell adaptations shape evolutionary transitions to multicellularity in green algae. *Nature Ecology & Evolution*, 7(6), 889–902.
<https://doi.org/10.1038/s41559-023-02044-6>
- Cornwell, J. A., Crncec, A., Afifi, M. M., Tang, K., Amin, R. y Cappell, S. D. (2023). Loss of CDK4/6 activity in S/G2 phase leads to cell cycle reversal. *Nature*, 619(7969), 363–370.
<https://doi.org/10.1038/s41586-023-06274-3>
- Crncec, A. y Hochegger, H. (2019). Triggering mitosis. *FEBS Letters*, 593(20), 2868–2888.
<https://doi.org/10.1002/1873-3468.13635>
- Darici, D., Reissner, C., Brockhaus, J. y Missler, M. (2021). Implementation of a fully digital histology course in the anatomical teaching curriculum during COVID-19 pandemic. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*, 236, 151718.
<https://doi.org/10.1016/j.aanat.2021.151718>
- Davies, P. (2000). Approaches to evidence-based teaching. *Medical Teacher*, 22(1), 14-21.
<https://doi.org/10.1080/01421590078751>
- de Oliveira, M. L. y Galembeck, E. (2016). Mobile Applications in Cell Biology Present New Approaches for Cell Modelling. *Journal of Biological Education*, 50(3), 290-303.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2015.1085428>
- de Farias, S. T., Jose, M. V. y Prosdocimi, F. (2021). Is it possible that cells have had more than one origin? *Biosystems*, 202, 104371. <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2021.104371>
- Deamer, D. (2021). Electrochemical energy for living systems. *Current Opinion in Electrochemistry*, 29, 100742. <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2021.100742>
- Decreto 1330 de 2019 [Presidencia de la República de Colombia]. Por el cual se sustituye el

Capítulo 2 y se suprime el Capítulo 7 del Título 3 de la Parte 5 del Libro 2 del Decreto 1075 de 2015 -Único Reglamentario del Sector Educación. Julio 25 de 2019.

Dewey, J. (1940). *Education Today*. Greenwood Press.

Dey, G. y Baum, B. (2021). Nuclear envelope remodelling during mitosis. *Current Opinion in Cell Biology*, 70, 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.ceb.2020.12.004>

Díaz-Coránguez, M., Liu, X. y Antonetti, D. A. (2019). Tight Junctions in Cell Proliferation. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(23), Article 23. <https://doi.org/10.3390/ijms20235972>

Ding, H., Zhou, P., Fu, W., Ding, L., Guo, W. y Su, B. (2021). Spatially Selective Imaging of Cell–Matrix and Cell–Cell Junctions by Electrochemiluminescence. *Angewandte Chemie International Edition*, 60(21), 11769–11773. <https://doi.org/10.1002/anie.202101467>

Duan, X. y Sun, S.-C. (2019). Actin cytoskeleton dynamics in mammalian oocyte meiosis†. *Biology of Reproduction*, 100(1), 15–24. <https://doi.org/10.1093/biolre/iyoy163>

Edelbroek, B., Kjellin, J., Biryukova, I., Liao, Z., Lundberg, T., Noegel, A. A., Eichinger, L., Friedländer, M. R. y Söderbom, F. (2024). Evolution of microRNAs in Amoebozoa and implications for the origin of multicellularity. *Nucleic Acids Research*, 52(6), 3121–3136. <https://doi.org/10.1093/nar/gkae109>

Engeland, K. (2022). Cell cycle regulation: P53-p21-RB signaling. *Cell Death & Differentiation*, 29(5), 946–960. <https://doi.org/10.1038/s41418-022-00988-z>

Ertmer, P. A. y Newby, T. J. (2017). *Behaviorism, Cognitivism, Constructivism*.

<https://pressbooks.pub/lidtfoundations/chapter/behaviorism-cognitivism-constructivism/>

Espejo Leupin, R. M. (2016). ¿PEDAGOGÍA ACTIVA O MÉTODOS ACTIVOS? EL CASO DEL APRENDIZAJE ACTIVO EN LA UNIVERSIDAD. *Revista Digital de*

- Investigación en Docencia Universitaria*, 16–27. <https://doi.org/10.19083/ridu.10.456>
- Evans, K. D., Bradbury, P. y Bloom, I. W. (2024). Hybrid Methodologies: The Evolution and Future of Scientific Training in a Post-Pandemic World. *Journal of Diagnostic Medical Sonography*, 40(2), 222–227. <https://doi.org/10.1177/87564793231215768>
- Fei, L., Chen, H., Ma, L., E, W., Wang, R., Fang, X., Zhou, Z., Sun, H., Wang, J., Jiang, M., Wang, X., Yu, C., Mei, Y., Jia, D., Zhang, T., Han, X. y Guo, G. (2022). Systematic identification of cell-fate regulatory programs using a single-cell atlas of mouse development. *Nature Genetics*, 54(7), 1051–1061. <https://doi.org/10.1038/s41588-022-01118-8>
- Festuccia, N., Owens, N., Papadopoulou, T., Gonzalez, I., Tachtsidi, A., Vandoermel-Pournin, S., Gallego, E., Gutierrez, N., Dubois, A., Cohen-Tannoudji, M. y Navarro, P. (2019). Transcription factor activity and nucleosome organization in mitosis. *Genome Research*, 29(2), 250–260. <https://doi.org/10.1101/gr.243048.118>
- Fletcher, J. D. (2009). From Behaviorism to Constructivism: A Philosophical Journey from Drill and Practice to Situated Learning. En *Constructivist Instruction*. Routledge.
- Friesen, N. (2011). The Lecture as a Transmedial Pedagogical Form: A Historical Analysis. *Educational Researcher*, 40(3), 95–102.
- Fu, R., Jiang, X., Li, G., Zhu, Y. y Zhang, H. (2022). Junctional complexes in epithelial cells: Sentinels for extracellular insults and intracellular homeostasis. *The FEBS Journal*, 289(23), 7314–7333. <https://doi.org/10.1111/febs.16174>
- Fuchs, E. y Blau, H. M. (2020). Tissue Stem Cells: Architects of Their Niches. *Cell Stem Cell*, 27(4), 532–556. <https://doi.org/10.1016/j.stem.2020.09.011>
- Gabaldón, T. (2021). Origin and Early Evolution of the Eukaryotic Cell. *Annual Review of*

- Microbiology*, 75(Volume 75, 2021), 631–647. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-090817-062213>
- Gehart, H., Es, J. H. van, Hamer, K., Beumer, J., Kretzschmar, K., Dekkers, J. F., Rios, A. y Clevers, H. (2019). Identification of Enteroendocrine Regulators by Real-Time Single-Cell Differentiation Mapping. *Cell*, 176(5), 1158-1173.e16.
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2018.12.029>
- Gibbens, B. B. (2021). *Bad Cell Reception? Using a cell part activity to help students appreciate cell biology, with an improved data plan and no loss in coverage.*
<https://doi.org/10.24918/cs.2014.3>
- Gillies, R. M. y Ashman, A. F. (2003). An historical review of the use of groups to promote socialization and learning. En *Co-operative Learning. The social and intellectual outcomes of learning in groups*. Routledge.
- Gogus, A. (2012). Bloom's Taxonomy of Learning Objectives. En N. M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (pp. 469-473). Springer US.
https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_141
- Gottschalk, B., Koshenov, Z., Malli, R. y Graier, W. F. (2024). Implications of mitochondrial membrane potential gradients on signaling and ATP production analyzed by correlative multi-parameter microscopy. *Scientific Reports*, 14(1), 14784.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-65595-z>
- Greening, C. y Lithgow, T. (2020). Formation and function of bacterial organelles. *Nature Reviews Microbiology*, 18(12), 677–689. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0413-0>
- Groccia, J. E. y Buskist, W. (2011). Need for evidence-based teaching. *New Directions for Teaching and Learning*, 2011(128), 5-11. <https://doi.org/10.1002/tl.463>

- Guerrero, C. R., Garcia, P. D. y Garcia, R. (2019). Subsurface Imaging of Cell Organelles by Force Microscopy. *ACS Nano*, 13(8), 9629–9637.
<https://doi.org/10.1021/acsnano.9b04808>
- Guo, H., Suzuki, T. y Rubinstein, J. L. (2019). Structure of a bacterial ATP synthase. *eLife*, 8, e43128. <https://doi.org/10.7554/eLife.43128>
- Gupta, V. K. y Chaudhuri, O. (2022). Mechanical regulation of cell-cycle progression and division. *Trends in Cell Biology*, 32(9), 773–785.
<https://doi.org/10.1016/j.tcb.2022.03.010>
- Gutek, G. (2004). Gutek, Gerald Lee, Philosophical and Ideological Voices in Education. Boston: Pearson/Allyn & Bacon, 2004. *CIRS: Curriculum Inquiry and Related Studies from Educational Research: A Searchable Bibliography of Selected Studies*. <https://stars.library.ucf.edu/cirs/3060>
- Gutiérrez-Delgado, H., Gutiérrez-Ríos, C. y Gutiérrez-Ríos, J. (2018). Estrategias metodológicas de enseñanza y aprendizaje con un enfoque lúdico. *Revista de Educación y Desarrollo*, 45.
- Hafner, A., Bulyk, M. L., Jambhekar, A. y Lahav, G. (2019). The multiple mechanisms that regulate p53 activity and cell fate. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 20(4), 199–210. <https://doi.org/10.1038/s41580-019-0110-x>
- Halabieh, H., Hawkins, S., Bernstein, A. E., Lewkowict, S., Unaldi Kamel, B., Fleming, L., Levitin, D. (2022). The Future of Higher Education: Identifying Current Educational Problems and Proposed Solutions. *Educ. Sci*, 12(12), 888
<https://doi.org/10.3390/educsci12120888>
- Hamant, O. y Saunders, T. E. (2020). Shaping Organs: Shared Structural Principles Across

- Kingdoms. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 36(Volume 36, 2020), 385–410. <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-012820-103850>
- Hanneschlaeger, C., Horner, A. y Pohl, P. (2019). Intrinsic Membrane Permeability to Small Molecules. *Chemical Reviews*, 119(9), 5922–5953. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00560>
- Hansen, K. G. y Herrmann, J. M. (2019). Transport of Proteins into Mitochondria. *The Protein Journal*, 38(3), 330–342. <https://doi.org/10.1007/s10930-019-09819-6>
- Hassinger-Das, B., Toub, T. S., Zosh, J. M., Michnick, J., Golinkoff, R. y Hirsh-Pasek, K. (2017). More than just fun: A place for games in playful learning / Más que diversión: el lugar de los juegos reglados en el aprendizaje lúdico. *Journal for the Study of Education and Development*, 40(2), 191–218. <https://doi.org/10.1080/02103702.2017.1292684>
- Hastings, J. F., Skhinas, J. N., Fey, D., Croucher, D. R. y Cox, T. R. (2019). The extracellular matrix as a key regulator of intracellular signalling networks. *British Journal of Pharmacology*, 176(1), 82–92. <https://doi.org/10.1111/bph.14195>
- Hellmuth, S. y Stemmann, O. (2020). Separase-triggered apoptosis enforces minimal length of mitosis. *Nature*, 580(7804), 542–547. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2187-y>
- Hinch, A. G., Becker, P. W., Li, T., Moralli, D., Zhang, G., Bycroft, C., Green, C., Keeney, S., Shi, Q., Davies, B. y Donnelly, P. (2020). The Configuration of RPA, RAD51, and DMC1 Binding in Meiosis Reveals the Nature of Critical Recombination Intermediates. *Molecular Cell*, 79(4), 689-701.e10. <https://doi.org/10.1016/j.molcel.2020.06.015>
- Hjørland, B. (2002). Epistemology and the socio-cognitive perspective in information science. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 53(4), 257–270. <https://doi.org/10.1002/asi.10042>

- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266.
<https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>
- Huber, M., Casares-Arias, J., Fässler, R., Müller, D. J. y Strohmeyer, N. (2023). In mitosis integrins reduce adhesion to extracellular matrix and strengthen adhesion to adjacent cells. *Nature Communications*, 14(1), 2143. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37760-x>
- Hume, S., Dianov, G. L. y Ramadan, K. (2020). A unified model for the G1/S cell cycle transition. *Nucleic Acids Research*, 48(22), 12483–12501.
<https://doi.org/10.1093/nar/gkaa1002>
- Humphries, J. D., Chastney, M. R., Askari, J. A. y Humphries, M. J. (2019). Signal transduction via integrin adhesion complexes. *Current Opinion in Cell Biology*, 56, 14–21.
<https://doi.org/10.1016/j.ceb.2018.08.004>
- Iovine, J. C., Claypool, S. M. y Alder, N. N. (2021). Mitochondrial compartmentalization: Emerging themes in structure and function. *Trends in Biochemical Sciences*, 46(11), 902–917. <https://doi.org/10.1016/j.tibs.2021.06.003>
- Iwasa, J. y Marshall, W. (2019). Karp. Biología Celular y Molecular. Conceptos y Experimentos. (9ª Edición). McGraw-Hill.
- Ishiguro, K. (2019). The cohesin complex in mammalian meiosis. *Genes to Cells*, 24(1), 6–30.
<https://doi.org/10.1111/gtc.12652>
- Jadli, A. S., Ballasy, N., Edalat, P. y Patel, V. B. (2020). Inside(sight) of tiny communicator: Exosome biogenesis, secretion, and uptake. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 467(1), 77–94. <https://doi.org/10.1007/s11010-020-03703-z>
- Jayasinghe, U. y Dharmaratne, A. (2013). Game based learning vs. Gamification from the higher

- education students' perspective. *Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE)*, 683–688.
<https://doi.org/10.1109/TALE.2013.6654524>
- Ježek, J., Smethurst, D. G. J., Stieg, D. C., Kiss, Z. a. C., Hanley, S. E., Ganesan, V., Chang, K.-T., Cooper, K. F. y Strich, R. (2019). Cyclin C: The Story of a Non-Cycling Cyclin. *Biology*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/biology8010003>
- Jia, T. Z. (2023). Primitive membraneless compartments as a window into the earliest cells. *Biophysical Reviews*, 15(6), 1897–1900. <https://doi.org/10.1007/s12551-023-01135-9>
- Jiao, H., Li, X., Li, Y., Guo, Y., Hu, X., Sho, T., Luo, Y., Wang, J., Cao, H., Du, W., Li, D. y Yu, L. (2024). Localized, highly efficient secretion of signaling proteins by migrasomes. *Cell Research*, 34(8), 572–585. <https://doi.org/10.1038/s41422-024-00992-7>
- Johnson, D. W. y Johnson, R. T. (2009). An Educational Psychology Success Story: Social Interdependence Theory and Cooperative Learning. *Educational Researcher*, 38(5), 365–379. <https://doi.org/10.3102/0013189X09339057>
- Journal of Visualized Experiments (JoVE). (s.f.). Eukaryotic Evolution <https://app-jove-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/science-education/v/12437/concepts/eukaryotic-evolution>
- Kalous, J. y Aleshkina, D. (2023). Multiple Roles of PLK1 in Mitosis and Meiosis. *Cells*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/cells12010187>
- Karagiorgas, D. N. y Niemann, S. (2017). Gamification and Game-Based Learning. *Journal of Educational Technology Systems*, 45(4), 499–519.
<https://doi.org/10.1177/0047239516665105>
- Karp, G., van der Geer, P. (2006). Biología celular y molecular: conceptos y experimentos. (4ª

- Edición). McGraw-Hill Interamericana.
- Kazi, S. y Galanaki, E. (2020). Piagetian Theory of Cognitive Development. En S. Hupp & J. Jewell (Eds.), *The Encyclopedia of Child and Adolescent Development* (1a ed., pp. 1–11). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119171492.wecad364>
- Kefauver, J. M., Ward, A. B. y Patapoutian, A. (2020). Discoveries in structure and physiology of mechanically activated ion channels. *Nature*, 587(7835), 567–576. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2933-1>
- Kim, H. J., Liu, C. y Dernburg, A. F. (2022). How and Why Chromosomes Interact with the Cytoskeleton during Meiosis. *Genes*, 13(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/genes13050901>
- Kim, T. y Gartner, A. (2021). Bub1 kinase in the regulation of mitosis. *Animal Cells and Systems*, 25(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/19768354.2021.1884599>
- Kimata, Y. (2019). APC/C Ubiquitin Ligase: Coupling Cellular Differentiation to G1/G0 Phase in Multicellular Systems. *Trends in Cell Biology*, 29(7), 591–603. <https://doi.org/10.1016/j.tcb.2019.03.001>
- Klionsky, D. J. (2004). Points of View: Lectures: Can't Learn with Them, Can't Learn without Them. *Cell Biology Education*, 3(4), 204–211. <https://doi.org/10.1187/cbe.04-07-0055>
- Kiss, E., Hegedüs, B., Virágh, M., Varga, T., Merényi, Z., Kószó, T., Bálint, B., Prasanna, A. N., Krizsán, K., Kocsubé, S., Riquelme, M., Takeshita, N. y Nagy, L. G. (2019). Comparative genomics reveals the origin of fungal hyphae and multicellularity. *Nature Communications*, 10(1), 4080. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12085-w>
- Klaasen, S. J. y Kops, G. J. P. L. (2022). Chromosome Inequality: Causes and Consequences of Non-Random Segregation Errors in Mitosis and Meiosis. *Cells*, 11(22), Article 22.

<https://doi.org/10.3390/cells11223564>

Kruger, A. N. y Mueller, J. L. (2021). Mechanisms of meiotic drive in symmetric and asymmetric meiosis. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 78(7), 3205–3218.

<https://doi.org/10.1007/s00018-020-03735-0>

Kumari, R. y Jat, P. (2021). Mechanisms of Cellular Senescence: Cell Cycle Arrest and Senescence Associated Secretory Phenotype. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.645593>

Laurillard, D. (2013). *Rethinking University Teaching: A Conversational Framework for the Effective Use of Learning Technologies* (2a ed.). Routledge.

<https://doi.org/10.4324/9781315012940>

Laws, E. y Khan, S. University of Dundee School of Medicine. (2023). Intercellular Junctions.

<https://sketchfab.com/3d-models/intercellular-junctions-c49bf33b4efe4d32ae0bdfab5d344b4d>

Lee, J. H. y Berger, J. M. (2019). Cell Cycle-Dependent Control and Roles of DNA

Topoisomerase II. *Genes*, 10(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/genes10110859>

LeGuenec, M., Klena, N., Aeschlimann, G., Hamel, V. y Guichard, P. (2021). Overview of the centriole architecture. *Current Opinion in Structural Biology*, 66, 58–65.

<https://doi.org/10.1016/j.sbi.2020.09.015>

Leiva, C. (2005). Conductismo, cognitivismo y aprendizaje. *Revista Tecnología En Marcha*, 18(1).

Lemmens, B. y Lindqvist, A. (2019). DNA replication and mitotic entry: A brake model for cell cycle progression. *Journal of Cell Biology*, 218(12), 3892–3902.

<https://doi.org/10.1083/jcb.201909032>

- Lenzini, S., Bargi, R., Chung, G. y Shin, J.-W. (2020). Matrix mechanics and water permeation regulate extracellular vesicle transport. *Nature Nanotechnology*, *15*(3), 217–223.
<https://doi.org/10.1038/s41565-020-0636-2>
- Lesgold, A. (2004). Contextual requirements for constructivist learning. *International Journal of Educational Research*, *41*(6), 495–502. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2005.08.014>
- Li, B., Zeng, Y. y Jiang, L. (2022). COPII vesicles in plant autophagy and endomembrane trafficking. *FEBS Letters*, *596*(17), 2314–2323. <https://doi.org/10.1002/1873-3468.14362>
- Li, Y., Tang, W. y Guo, M. (2021). The cell as matter: Connecting molecular biology to cellular functions. *Matter*, *4*(6), 1863–1891. <https://doi.org/10.1016/j.matt.2021.03.013>
- Liu, L., Michowski, W., Kolodziejczyk, A. y Sicinski, P. (2019). The cell cycle in stem cell proliferation, pluripotency and differentiation. *Nature Cell Biology*, *21*(9), 1060–1067.
<https://doi.org/10.1038/s41556-019-0384-4>
- Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C.A., Krieger, M., Bretscher, A., Ploegh, H., Amon, A. y Scott, M.P. (2016). *Biología celular y molecular*. (5ª Edición). Editorial Médica Panamericana.
- Lodish, H. F., Berk, A., Kaiser, C., Krieger, M., Bretscher, A., Ploegh, H. L., Martin, K. C., Yaffe, M. B. y Amon, A. (2021). *Molecular cell biology* (9ª Edición). Macmillan Learning.
- Lopes, D. y Maiato, H. (2020). The Tubulin Code in Mitosis and Cancer. *Cells*, *9*(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/cells9112356>
- López Ardila, I. Y. y Martínez Pérez, F. J. (2017). Observaciones y comentarios en la aplicación de las estrategias pedagógicas Just-in-time teaching (Jitt) y Aprendizaje colaborativo vía tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la enseñanza de Biología Celular a Estudiantes Universitarios. 3º evento “Experiencias exitosas en la

- implementación de TIC en docencia”. 14 de Septiembre de 2017, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. Presentación oral.
- Luo, H., Marron Fernandez de Velasco, E. y Wickman, K. (2022). Neuronal G protein-gated K⁺ channels. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 323(2), C439–C460.
<https://doi.org/10.1152/ajpcell.00102.2022>
- Lyu, M., Yazdi, M., Lin, Y., Höhn, M., Lächelt, U. y Wagner, E. (2024). Receptor-Targeted Dual pH-Trigged Intracellular Protein Transfer. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 10(1), 99–114. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.2c00476>
- Ma, K., Chen, G., Li, W., Kepp, O., Zhu, Y. y Chen, Q. (2020). Mitophagy, Mitochondrial Homeostasis, and Cell Fate. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 8.
<https://doi.org/10.3389/fcell.2020.00467>
- Mai, L., C. Wimberley, S. y A. Champion, J. (2024). Intracellular delivery strategies using membrane-interacting peptides and proteins. *Nanoscale*, 16(33), 15465–15480.
<https://doi.org/10.1039/D4NR02093F>
- Mani, I. y Singh, V. (2023). Chapter One—An overview of receptor endocytosis and signaling. En I. Mani & V. Singh (Eds.), *Progress in Molecular Biology and Translational Science* (Vol. 194, pp. 1–18). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.pmbts.2022.06.018>
- Manoj, K. M., Gideon, D. A. y Jaeken, L. (2022). Why do cells need oxygen? Insights from mitochondrial composition and function. *Cell Biology International*, 46(3), 344–358.
<https://doi.org/10.1002/cbin.11746>
- Marijuán, P. C. y Navarro, J. (2022). The biological information flow: From cell theory to a new evolutionary synthesis. *Biosystems*, 213, 104631.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2022.104631>

- Markou, A., Unger, L., Abir-Awan, M., Saadallah, A., Halsey, A., Balklava, Z., Conner, M., Törnroth-Horsefield, S., Greenhill, S. D., Conner, A., Bill, R. M., Salman, M. M. y Kitchen, P. (2022). Molecular mechanisms governing aquaporin relocalisation. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, 1864(4), 183853. <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2021.183853>
- Márquez-Zacarías, P., Conlin, P. L., Tong, K., Pentz, J. T. y Ratcliff, W. C. (2021). Why have aggregative multicellular organisms stayed simple? *Current Genetics*, 67(6), 871–876. <https://doi.org/10.1007/s00294-021-01193-0>
- Marrs, K. A. y Novak, G. (2004). Just-in-Time Teaching in Biology: Creating an Active Learner Classroom Using the Internet. *Cell Biology Education*, 3(1), 49–61. <https://doi.org/10.1187/cbe.03-11-0022>
- Matveev, V. V. (2019). Cell theory, intrinsically disordered proteins, and the physics of the origin of life. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 149, 114–130. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2019.04.001>
- McAteer, L., Roche, J. y Kelly, A. M. (2023). Renewing an undergraduate science curriculum for the 21st century. *Sec. Higher Education*, 8. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1270941>
- McCaslin, M. y Hickey, D. T. (2001). Educational Psychology, Social Constructivism, and Educational Practice: A Case of Emergent Identity. *Educational Psychologist*, 36(2), 133–140. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3602_8
- Méndez-Ardoy, A., Lostalé-Seijo, I. y Montenegro, J. (2019). Where in the Cell Is our Cargo? Methods Currently Used To Study Intracellular Cytosolic Localisation. *ChemBioChem*, 20(4), 488–498. <https://doi.org/10.1002/cbic.201800390>

- Mermelstein, C. y Costa, M. L. (2017). Analysis of undergraduate cell biology contents in Brazilian public universities. *Cell Biology International*, 41(4), 361–368.
<https://doi.org/10.1002/cbin.10720>
- Miller, G. A. (2003). The cognitive revolution: A historical perspective. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(3), 141–144. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(03\)00029-9](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00029-9)
- Mironov, A. A. y Beznoussenko, G. V. (2023). The Regulated Secretion and Models of Intracellular Transport: The Goblet Cell as an Example. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/ijms24119560>
- Mizuuchi, R. y Ichihashi, N. (2021). Primitive Compartmentalization for the Sustainable Replication of Genetic Molecules. *Life*, 11(3), Article 3.
<https://doi.org/10.3390/life11030191>
- Mogre, S. S., Brown, A. I. y Koslover, E. F. (2020). Getting around the cell: Physical transport in the intracellular world. *Physical Biology*, 17(6), 061003. <https://doi.org/10.1088/1478-3975/aba5e5>
- Moore, R. C. (1984). A cognitivist reply to behaviorism. *Behavioral and Brain Sciences*, 7(4), 637–639. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00027801>
- Moreno-Andrés, D., Holl, K. y Antonin, W. (2023). The second half of mitosis and its implications in cancer biology. *Seminars in Cancer Biology*, 88, 1–17.
<https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2022.11.013>
- Moreno-Layseca, P., Icha, J., Hamidi, H. y Ivaska, J. (2019). Integrin trafficking in cells and tissues. *Nature Cell Biology*, 21(2), 122–132. <https://doi.org/10.1038/s41556-018-0223-z>
- Morshedi Rad, D., Alsatat Rad, M., Razavi Bazaz, S., Kashaninejad, N., Jin, D. y Ebrahimi Warkiani, M. (2021). A Comprehensive Review on Intracellular Delivery. *Advanced*

- Materials*, 33(13), 2005363. <https://doi.org/10.1002/adma.202005363>
- Moura, M. y Conde, C. (2019). Phosphatases in Mitosis: Roles and Regulation. *Biomolecules*, 9(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/biom9020055>
- Munoz-Lopez, M. y Garcia-Perez, J. L. (2010). DNA Transposons: Nature and Applications in Genomics. *Current Genomics*, 11(2), 115–128. <https://doi.org/10.2174/138920210790886871>
- Muñoz, S., Blanco, P. M., Janampa, N. y Verde, L. (2024). Mejora del aprendizaje pasivo. Un modelo eficaz para investigación universitaria. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 27(2), Article 2. <https://doi.org/10.6018/reifop.606921>
- Muñoz-Lopez, M., Vilar-Astasio, R., Tristan-Ramos, P., Lopez-Ruiz, C. y Garcia-Pérez, J. L. (2016). Study of Transposable Elements and Their Genomic Impact. En J. L. Garcia-Pérez (Ed.), *Transposons and Retrotransposons: Methods and Protocols* (pp. 1–19). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3372-3_1
- Murakami, H., Lam, I., Huang, P.-C., Song, J., van Overbeek, M. y Keeney, S. (2020). Multilayered mechanisms ensure that short chromosomes recombine in meiosis. *Nature*, 582(7810), 124–128. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2248-2>
- Mylvaganam, S., Freeman, S. A. y Grinstein, S. (2021). The cytoskeleton in phagocytosis and macropinocytosis. *Current Biology*, 31(10), R619–R632. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.01.036>
- Mystakidis, S. (2021). Deep Meaningful Learning. *Encyclopedia*, 1(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia1030075>
- Nair, A., Chauhan, P., Saha, B. y Kubatzky, K. F. (2019). Conceptual Evolution of Cell Signaling. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(13), Article 13.

<https://doi.org/10.3390/ijms20133292>

Neupane, P., Bhujju, S., Thapa, N. y Bhattarai, H. K. (2019). ATP Synthase: Structure, Function and Inhibition. *Biomolecular Concepts*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1515/bmc-2019-0001>

New, J. y Thomas, S. M. (2019). Autophagy-dependent secretion: Mechanism, factors secreted, and disease implications. *Autophagy*, 15(10), 1682–1693.

<https://doi.org/10.1080/15548627.2019.1596479>

Niklas, K. J. y Newman, S. A. (2020). The many roads to and from multicellularity. *Journal of Experimental Botany*, 71(11), 3247–3253. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz547>

Nilsson, J. (2018). Protein phosphatases in the regulation of mitosis. *Journal of Cell Biology*, 218(2), 395–409. <https://doi.org/10.1083/jcb.201809138>

Novak, G. M. (2011). Just-in-time teaching. *New Directions for Teaching and Learning*, 2011(128), 63–73. <https://doi.org/10.1002/tl.469>

Novoselelskaya, E. S., Grigorieva, O. A., Efimenko, A. Yu. y Kalinina, N. I. (2019).

Extracellular Matrix in the Regulation of Stem Cell Differentiation. *Biochemistry (Moscow)*, 84(3), 232–240. <https://doi.org/10.1134/S0006297919030052>

O'Brien, K., Breyne, K., Ughetto, S., Laurent, L. C. y Breakefield, X. O. (2020). RNA delivery by extracellular vesicles in mammalian cells and its applications. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 21(10), 585–606. <https://doi.org/10.1038/s41580-020-0251-y>

Odle, R. I., Walker, S. A., Oxley, D., Kidger, A. M., Balmanno, K., Gilley, R., Okkenhaug, H., Florey, O., Ktistakis, N. T. y Cook, S. J. (2020). An mTORC1-to-CDK1 Switch Maintains Autophagy Suppression during Mitosis. *Molecular Cell*, 77(2), 228-240.e7. <https://doi.org/10.1016/j.molcel.2019.10.016>

- Ogrodnik, M. (2021). Cellular aging beyond cellular senescence: Markers of senescence prior to cell cycle arrest in vitro and in vivo. *Aging Cell*, 20(4), e13338.
<https://doi.org/10.1111/ace1.13338>
- Ogrodnik, M., Salmonowicz, H., Jurk, D. y Passos, J. F. (2019). Expansion and Cell-Cycle Arrest: Common Denominators of Cellular Senescence. *Trends in Biochemical Sciences*, 44(12), 996–1008. <https://doi.org/10.1016/j.tibs.2019.06.011>
- Örd, M., Venta, R., Möll, K., Valk, E. y Loog, M. (2019). Cyclin-Specific Docking Mechanisms Reveal the Complexity of M-CDK Function in the Cell Cycle. *Molecular Cell*, 75(1), 76–89.e3. <https://doi.org/10.1016/j.molcel.2019.04.026>
- Ortega Ferreira, S. C., y Moreno Salamanca, M. C. (2016). La flexibilidad didáctica en entornos virtuales de aprendizaje. *Virtu@lmente*, 1(2), 45–59.
- Otani, T. y Furuse, M. (2020). Tight Junction Structure and Function Revisited. *Trends in Cell Biology*, 30(10), 805–817. <https://doi.org/10.1016/j.tcb.2020.08.004>
- Ovejero, S., Bueno, A. y Sacristán, M. P. (2020). Working on Genomic Stability: From the S-Phase to Mitosis. *Genes*, 11(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/genes11020225>
- Palacios-Blanco, I. y Martín-Castellanos, C. (2022). Cyclins and CDKs in the regulation of meiosis-specific events. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 10.
<https://doi.org/10.3389/fcell.2022.1069064>
- Paleos, C. M. (2019). Organization and Compartmentalization by Lipid Membranes Promote Reactions Related to the Origin of Cellular Life. *Astrobiology*, 19(4), 547–552.
<https://doi.org/10.1089/ast.2018.1832>
- Palmer, N. y Kaldis, P. (2020). Less-well known functions of cyclin/CDK complexes. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 107, 54–62.

<https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2020.04.003>

Panstruga, R., Antonin, W. y Lichius, A. (2023). Looking outside the box: A comparative cross-kingdom view on the cell biology of the three major lineages of eukaryotic multicellular life. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 80(8), 198. <https://doi.org/10.1007/s00018-023-04843-3>

Patron, M., Tarasenko, D., Nolte, H., Kroczek, L., Ghosh, M., Ohba, Y., Lasarzewski, Y., Ahmadi, Z. A., Cabrera-Orefice, A., Eyiyama, A., Kellermann, T., Rugarli, E. I., Brandt, U., Meinecke, M. y Langer, T. (2022). Regulation of mitochondrial proteostasis by the proton gradient. *The EMBO Journal*, 41(16), e110476. <https://doi.org/10.15252/emj.2021110476>

Patterson, J. C., Joughin, B. A., Kooij, B. van de, Lim, D. C., Lauffenburger, D. A. y Yaffe, M. B. (2019). ROS and Oxidative Stress Are Elevated in Mitosis during Asynchronous Cell Cycle Progression and Are Exacerbated by Mitotic Arrest. *Cell Systems*, 8(2), 163-167.e2. <https://doi.org/10.1016/j.cels.2019.01.005>

Petersen, C. I., Baepler, P., Beitz, A., Ching, P., Gorman, K. S., Neudauer, C. L., Rozaitis, W., Walker, J. D. y Wingert, D. (2020). The Tyranny of Content: “Content Coverage” as a Barrier to Evidence-Based Teaching Approaches and Ways to Overcome It. *CBE—Life Sciences Education*, 19(2), ar17. <https://doi.org/10.1187/cbe.19-04-0079>

Petrany, M. J. y Millay, D. P. (2019). Cell Fusion: Merging Membranes and Making Muscle. *Trends in Cell Biology*, 29(12), 964–973. <https://doi.org/10.1016/j.tcb.2019.09.002>

Pfannschmidt, T., Terry, M. J., Van Aken, O. y Quiros, P. M. (2020). Retrograde signals from endosymbiotic organelles: A common control principle in eukaryotic cells. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1801), 20190396.

- <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0396>
- Picard, M. y Shirihai, O. S. (2022). Mitochondrial signal transduction. *Cell Metabolism*, 34(11), 1620–1653. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2022.10.008>
- Pizzagalli, M. D., Bensimon, A. y Superti-Furga, G. (2021). A guide to plasma membrane solute carrier proteins. *The FEBS Journal*, 288(9), 2784–2835. <https://doi.org/10.1111/febs.15531>
- Plowright, D. (2016). Introducing Pragmatism. En D. Plowright (Ed.), *Charles Sanders Peirce: Pragmatism and Education* (pp. 13–23). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7356-0_2
- Prodocimi, F., de Farias, S. T. y José, M. V. (2022). Prebiotic chemical refugia: Multifaceted scenario for the formation of biomolecules in primitive Earth. *Theory in Biosciences*, 141(4), 339–347. <https://doi.org/10.1007/s12064-022-00377-7>
- Pyatnitskaya, A., Borde, V. y De Muyt, A. (2019). Crossing and zipping: Molecular duties of the ZMM proteins in meiosis. *Chromosoma*, 128(3), 181–198. <https://doi.org/10.1007/s00412-019-00714-8>
- Rasner, J. (2009). *De los diferentes usos de las piedras*. XXVII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología. VIII Jornadas de Sociología de la Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Rilla, K., Mustonen, A.-M., Arasu, U. T., Härkönen, K., Matilainen, J. y Nieminen, P. (2019). Extracellular vesicles are integral and functional components of the extracellular matrix. *Matrix Biology*, 75–76, 201–219. <https://doi.org/10.1016/j.matbio.2017.10.003>
- Roffay, C., Molinard, G., Kim, K., Urbanska, M., Andrade, V., Barbarasa, V., Nowak, P., Mercier, V., García-Calvo, J., Matile, S., Loewith, R., Echard, A., Guck, J., Lenz, M. y

- Roux, A. (2021). Passive coupling of membrane tension and cell volume during active response of cells to osmosis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(47), e2103228118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2103228118>
- Ros-Rocher, N., Pérez-Posada, A., Leger, M. M. y Ruiz-Trillo, I. (2021). The origin of animals: An ancestral reconstruction of the unicellular-to-multicellular transition. *Open Biology*, 11(2), 200359. <https://doi.org/10.1098/rsob.200359>
- Rossi, I. V., De Lima, J. D., Sabatke, B., Nunes, M. A. F., Ramirez, G. E. y Ramirez, M. I. (2021). Active learning tools improve the learning outcomes, scientific attitude, and critical thinking in higher education: Experiences in an online course during the COVID - 19 pandemic. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 49(6), 888–903. <https://doi.org/10.1002/bmb.21574>
- Rothman, J. E. (2002). The machinery and principles of vesicle transport in the cell. *Nature Medicine*, 8(10), 1059–1062. <https://doi.org/10.1038/nm770>
- Ruiz-Trillo, I., Kin, K. y Casacuberta, E. (2023). The Origin of Metazoan Multicellularity: A Potential Microbial Black Swan Event. *Annual Review of Microbiology*, 77(Volume 77, 2023), 499–516. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-032421-120023>
- Sarkar, S., Das, S., Dagar, S., Joshi, M. P., Mungi, C. V., Sawant, A. A., Patki, G. M. y Rajamani, S. (2020). Prebiological Membranes and Their Role in the Emergence of Early Cellular Life. *The Journal of Membrane Biology*, 253(6), 589–608. <https://doi.org/10.1007/s00232-020-00155-w>
- Sawyer, J. y Obeid, R. (2017). Chapter 12: Cooperative and Collaborative Learning: Getting the Best of Both Worlds. En *How We Teach Now. The GSTA Guide to Student-Centered Teaching*.

- Sekiguchi, T., Yoshida, K., Wakabayashi, K. y Hisabori, T. (2024). Proton gradient across the chloroplast thylakoid membrane governs the redox regulatory function of ATP synthase. *Journal of Biological Chemistry*, 300(9). <https://doi.org/10.1016/j.jbc.2024.107659>
- Şentürk, C. y Baş, G. (2020). An Overview of Learning and Teaching From the Past to the Present: New Learning and Teaching Paradigms in the 21st Century. En *Paradigm Shifts in 21st Century Teaching and Learning* (pp. 1–19). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-3146-4.ch001>
- Shima, T., Kirisako, H. y Nakatogawa, H. (2019). COPII vesicles contribute to autophagosomal membranes. *Journal of Cell Biology*, 218(5), 1503–1510. <https://doi.org/10.1083/jcb.201809032>
- Siebert, S., Farrell, J. A., Cazet, J. F., Abeykoon, Y., Primack, A. S., Schnitzler, C. E. y Juliano, C. E. (2019). Stem cell differentiation trajectories in Hydra resolved at single-cell resolution. *Science*, 365(6451), eaav9314. <https://doi.org/10.1126/science.aav9314>
- Sigismund, S., Lanzetti, L., Scita, G. y Di Fiore, P. P. (2021). Endocytosis in the context-dependent regulation of individual and collective cell properties. *Nature Reviews. Molecular Cell Biology*, 22(9), 625–643. <https://doi.org/10.1038/s41580-021-00375-5>
- Silm, K., Yang, J., Marcott, P. F., Asensio, C. S., Eriksen, J., Guthrie, D. A., Newman, A. H., Ford, C. P. y Edwards, R. H. (2019). Synaptic Vesicle Recycling Pathway Determines Neurotransmitter Content and Release Properties. *Neuron*, 102(4), 786-800.e5. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.03.031>
- Silva, J. B. da. (2020). David Ausubel's Theory of Meaningful Learning: An analysis of the necessary conditions. *Research, Society and Development*, 9(4), 3.
- Sjöqvist, M. y Andersson, E. R. (2019). Do as I say, Not(ch) as I do: Lateral control of cell fate.

- Developmental Biology*, 447(1), 58–70. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2017.09.032>
- Skinner, B. F. (1963). Operant behavior. *American Psychologist*, 18(8), 503–515.
<https://doi.org/10.1037/h0045185>
- Smits, V. A. J., Cabrera, E., Freire, R. y Gillespie, D. A. (2019). Claspin – checkpoint adaptor and DNA replication factor. *The FEBS Journal*, 286(3), 441–455.
<https://doi.org/10.1111/febs.14594>
- Snowman, J. (1997). Educational Psychology: What Do We Teach, What Should We Teach? *Educational Psychology Review*, 9(2), 151–170.
<https://doi.org/10.1023/A:1024740512959>
- Sogabe, S., Hatleberg, W. L., Kocot, K. M., Say, T. E., Stoupin, D., Roper, K. E., Fernandez-Valverde, S. L., Degnan, S. M. y Degnan, B. M. (2019). Pluripotency and the origin of animal multicellularity. *Nature*, 570(7762), 519–522. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1290-4>
- Spitz, O., Erenburg, I. N., Beer, T., Kanonenberg, K., Holland, I. B. y Schmitt, L. (2019). Type I Secretion Systems—One Mechanism for All? *Microbiology Spectrum*, 7(2), 10.1128/microbiolspec.psib-0003–2018. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.psib-0003-2018>
- Stuffle, E. C., Johnson, M. S. y Watts, K. J. (2021). PAS domains in bacterial signal transduction. *Current Opinion in Microbiology*, 61, 8–15.
<https://doi.org/10.1016/j.mib.2021.01.004>
- Suresh, B., Saminathan, A., Chakraborty, K., Zajac, M., Cui, C., Becker, L. y Krishnan, Y. (2021). Tubular lysosomes harbor active ion gradients and poise macrophages for phagocytosis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(41), e2113174118.

<https://doi.org/10.1073/pnas.2113174118>

- Suwono, H., Saefi, M. y Susilo, H. (2019). Challenge based learning to improve scientific literacy of undergraduate biology students. *AIP Conference Proceedings*, 2081(1), 030020. <https://doi.org/10.1063/1.5094018>
- Tahir, I., Van Mierlo, V., Radauskas, V., Yeung, W., Tracey, A. y da Silva, R. (2022). Blended learning in a biology classroom: Pre-pandemic insights for post-pandemic instructional strategies. *FEBS Open Bio*, 12(7), 1286–1305. <https://doi.org/10.1002/2211-5463.13421>
- Tan, C. (2006). *Philosophical perspectives on education* (pp. 21–40).
- Tan, C. y Ng, C. S. L. (2021). Constructivism in Education. En *Oxford Research Encyclopedia of Education*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190264093.013.92>
- Tanner, K., Chatman, L. S. y Allen, D. (2003). Approaches to Cell Biology Teaching: Cooperative Learning in the Science Classroom—Beyond Students Working in Groups. *Cell Biology Education*, 2(1), 1–5. <https://doi.org/10.1187/cbe.03-03-0010>
- Taylor, R. J., Tagiltsev, G. y Briggs, J. A. G. (2023). The structure of COPI vesicles and regulation of vesicle turnover. *FEBS Letters*, 597(6), 819–835. <https://doi.org/10.1002/1873-3468.14560>
- Thorndike, E. L. (1933). A Proof of the Law of Effect. *Science*, 77(1989), 173–175. <https://doi.org/10.1126/science.77.1989.173.b>
- Tong, K., Bozdog, G. O. y Ratcliff, W. C. (2022). Selective drivers of simple multicellularity. *Current Opinion in Microbiology*, 67, 102141. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2022.102141>
- Torres, G. R. R., Pasapera, R. Y., Rios, J. A. S., Quiñones, A. M. V. y Barba-Briceño, L. E. (2022). Conductismo, cognitivismo, constructivismo: Sus aportes y las características del docente y estudiante. *Paidagogo*, 4(2), Article 2. <https://doi.org/10.52936/p.v4i2.136>

- Toth, A., Meyrat, A., Stoldt, S., Santiago, R., Wenzel, D., Jakobs, S., von Ballmoos, C. y Ott, M. (2020). Kinetic coupling of the respiratory chain with ATP synthase, but not proton gradients, drives ATP production in cristae membranes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(5), 2412–2421. <https://doi.org/10.1073/pnas.1917968117>
- Tripp, B., Cozzens, S., Hrycyk, C., Tanner, K. D. y Schinske, J. N. (2024). Content Coverage as a Persistent Exclusionary Practice: Investigating Perspectives of Health Professionals on the Influence of Undergraduate Coursework. *CBE—Life Sciences Education*, 23(1), ar5. <https://doi.org/10.1187/cbe.23-05-0074>
- Tsakeni, M. (2022). STEM Education Practical Work in Remote Classrooms: Prospects and Future Directions in the Post-Pandemic Era. *Journal of Culture and Values in Education*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.46303/jcve.2022.11>
- Ültanır, E. (2012). AN EPISTEMOLOGICAL GLANCE AT THE CONSTRUCTIVIST APPROACH: CONSTRUCTIVIST LEARNING IN DEWEY, PIAGET, AND MONTESSORI. *International Journal of Instruction*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2020). Education: From COVID-19 school closures to recovery. Recuperado el 26 de abril de 2024, de <https://www.unesco.org/en/covid-19/education-response>
- Universidad Industrial de Santander. (2021). Modelo Pedagógico UIS21.
- Varuzhanyan, G., Rojansky, R., Sweredoski, M. J., Graham, R. L., Hess, S., Ladinsky, M. S. y Chan, D. C. (2019). Mitochondrial fusion is required for spermatogonial differentiation and meiosis. *eLife*, 8, e51601. <https://doi.org/10.7554/eLife.51601>
- Vijapurkar, J., Kawalkar, A. y Nambiar, P. (2014). What do Cells Really Look Like? An Inquiry into Students' Difficulties in Visualising a 3-D Biological Cell and Lessons for

- Pedagogy. *Research in Science Education*, 44(2), 307-333.
<https://doi.org/10.1007/s11165-013-9379-5>
- Vizovišek, M., Fonović, M. y Turk, B. (2019). Cysteine cathepsins in extracellular matrix remodeling: Extracellular matrix degradation and beyond. *Matrix Biology*, 75–76, 141–159. <https://doi.org/10.1016/j.matbio.2018.01.024>
- Vosseberg, J., van Hooff, J. J. E., Marcet-Houben, M., van Vlimmeren, A., van Wijk, L. M., Gabaldón, T. y Snel, B. (2021). Timing the origin of eukaryotic cellular complexity with ancient duplications. *Nature Ecology & Evolution*, 5(1), 92–100.
<https://doi.org/10.1038/s41559-020-01320-z>
- Wertsch, J. V. (1997). *Vygotsky and the social formation of mind*. (1997). Harvard University Press.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Wang, Z. (2021). Regulation of Cell Cycle Progression by Growth Factor-Induced Cell Signaling. *Cells*, 10(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/cells10123327>
- Weber, M. S., Wojtynek, M. y Medalia, O. (2019). Cellular and Structural Studies of Eukaryotic Cells by Cryo-Electron Tomography. *Cells*, 8(1), Article 1.
<https://doi.org/10.3390/cells8010057>
- Xie, S., Swaffer, M. y Skotheim, J. M. (2022). Eukaryotic Cell Size Control and Its Relation to Biosynthesis and Senescence. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 38(Volume 38, 2022), 291–319. <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-120219-040142>
- Yang, J., Zhao, Z., Gu, M., Feng, X. y Xu, H. (2019). Release and uptake mechanisms of vesicular Ca²⁺ stores. *Protein & Cell*, 10(1), 8–19. <https://doi.org/10.1007/s13238-018->

0523-x

- Zastrow, M. von, & Sorkin, A. (2021). Mechanisms for Regulating and Organizing Receptor Signaling by Endocytosis. *Annual Review of Biochemistry*, 90(Volume 90, 2021), 709–737. <https://doi.org/10.1146/annurev-biochem-081820-092427>
- Zhang, M., Liu, L., Lin, X., Wang, Y., Li, Y., Guo, Q., Li, S., Sun, Y., Tao, X., Zhang, D., Lv, X., Zheng, L. y Ge, L. (2020). A Translocation Pathway for Vesicle-Mediated Unconventional Protein Secretion. *Cell*, 181(3), 637-652.e15. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.03.031>
- Zhao, R.-Z., Jiang, S., Zhang, L. y Yu, Z.-B. (2019). Mitochondrial electron transport chain, ROS generation and uncoupling (Review). *International Journal of Molecular Medicine*, 44(1), 3–15. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2019.4188>
- Zheng, H. y Xie, W. (2019). The role of 3D genome organization in development and cell differentiation. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 20(9), 535–550. <https://doi.org/10.1038/s41580-019-0132-4>

Apéndices

Apéndice A. Plan de estudio vigente de la asignatura “Biología Celular” (20064) del Pregrado en Biología de la Universidad Industrial de Santander, aprobado en 2010 y actualizado en 2019.

DATOS GENERALES DEL CURSO	
Programa académico	Pregrado en Biología
Asignatura	Biología Celular
Propósitos de la asignatura	
<p>Estudiar la actividad bioquímica y los fenómenos moleculares asociados con el citoplasma y organelos de células procariotas y eucariotas.</p> <p>Estudiar los acontecimientos morfológicos de las etapas del ciclo celular.</p> <p>Estudiar los mecanismos moleculares de regulación del ciclo celular en células eucariotas.</p> <p>Estudiar los mecanismos de especialización a través del proceso de diferenciación celular.</p>	
Competencias de la asignatura	
<p>Reconoce la estructura y ultraestructura de las membranas biológicas y organelos de células procariotas y eucariotas.</p> <p>Establece la importancia de las biomoléculas y de las uniones químicas en la organización de la arquitectura celular y en el normal desarrollo de sus propiedades fisiológicas.</p> <p>Construye la capacidad de análisis y razonamiento en problemas estructurales y metabólicos de las células eucariotas.</p> <p>Desarrolla las habilidades manuales, instrumentales y técnicas que requiere el estudio experimental de la biología celular.</p>	
Unidades	
<p>TEMA I: LA VIDA COMIENZA CON LAS CÉLULAS</p> <p>1.1 Diversidad y concordancia de las células.</p> <p>1.2 Las moléculas de las células.</p> <p>1.3 El trabajo de las células.</p> <p>1.4 Investigación de las células y sus partes.</p>	

TEMA II: ESTRUCTURA Y FUNCIÓN DE LAS PROTEÍNAS

- 2.1 Estructura jerárquica de las proteínas.
- 2.2 Plegamiento, modificación y degradación de las proteínas.
- 2.3 Las enzimas y el trabajo químico de las células.
- 2.4 Los motores moleculares y el trabajo mecánico de las células.
- 2.5 Purificación, detección y caracterización de las proteínas.

TEMA III: ESTRUCTURA, ORGANIZACIÓN Y FUNCIÓN DE LOS ÁCIDOS NUCLEICOS

- 3.1 Estructura de los ácidos nucleicos.
- 3.2 Definición molecular de gen.
- 3.3 Organización cromosómica de los genes y del ADN no codificador.
- 3.4 DNA móvil.
- 3.5 Organización estructural de los cromosomas eucariontes.
- 3.6 Morfología y elementos funcionales de los cromosomas eucariontes.
- 3.7 ADN de los orgánulos.

TEMA IV: BIOMEMBRANAS Y SUS FUNCIONES

- 4.1 Biomembranas: composición, organización estructural, componentes proteicos y funciones básicas.
- 4.2 Panorama general del transporte de membranas.
- 4.3 Bombas impulsadas por ATP y el ambiente iónico intracelular.
- 4.4 Canales iónicos no regulados y potenciales de membrana en reposo.
- 4.5 Cotransporte mediante simportadores y antiportadores.
- 4.6 Movimiento del agua
- 4.7 Transporte transepitelial.
- 4.8 Canales iónicos regulados por voltaje y propagación de potenciales de acción en las células nerviosas.
- 4.9 Neurotransmisores, receptores y proteínas transportadoras en la transmisión de señales en las sinapsis.

TEMA V: ARQUITECTURA CELULAR

- 5.1 Orgánulos de la célula eucarionte.
- 5.2 El citoesqueleto: componentes y funciones estructurales.
- 5.3 Purificación de las células y sus partes.
- 5.4 Visualización de la arquitectura celular.

TEMA VI: INTEGRACIÓN DE CÉLULAS EN TEJIDOS

- 6.1 Adhesión entre células y entre célula y matriz: una visión general.
- 6.2 Tejidos epiteliales laminares: moléculas de unión y de adhesión.
- 6.3 La matriz extracelular de los tejidos no epiteliales.
- 6.4 Interacciones adhesivas y células no epiteliales.
- 6.5 Tejidos vegetales.
- 6.6 Crecimiento y uso de los cultivos celulares.

TEMA VII: ENERGÉTICA CELULAR

- 7.1 Oxidación de la glucosa y de los ácidos grasos a CO₂.
- 7.2 Transporte de electrones y generación de la fuerza protón-motriz.
- 7.3 Generación de la fuerza protón-motriz para procesos que requieren energía.
- 7.4 Etapas de la fotosíntesis y pigmentos que absorben luz.
- 7.5 Análisis molecular de los fotosistemas.
- 7.6 Metabolismo del CO₂ durante la fotosíntesis.

TEMA VIII: MOVIMIENTO DE PROTEÍNAS EN LAS MEMBRANAS Y EN LOS ORGANELOS

- 8.1 Translocación de proteínas secretorias a través de la membrana del RE.
- 8.2 Inserción de proteínas en la membrana del RE.
- 8.3 Modificaciones, plegados y control de calidad de las proteínas en el RE.
- 8.4 Salidas de proteínas bacterianas.
- 8.5 Direccionamiento de proteínas a mitocondrias y cloroplastos.
- 8.6 Direccionamiento de las proteínas peroxisómicas.

TEMA IX: TRÁNSITO VESICULAR, SECRECIÓN Y ENDOCITOSIS

- 9.1 Técnicas para el estudio de las vías secretorias.
- 9.2 Mecanismos moleculares del tránsito vesicular.
- 9.3 Tránsito vesicular en las etapas iniciales de la vía secretoria.
- 9.4 Clasificación y procesamiento de proteínas en las etapas finales de la vía secretoria.
- 9.5 Endocitosis mediada por receptor y clasificación de las proteínas internalizadas.
- 9.6 Formación y función de las vesículas sinápticas.

TEMA X: EL CICLO CELULAR EUKARIONTE

- 10.1 Panorama general del ciclo celular y su control.
- 10.2 Estudios bioquímicos con ovocitos, huevos y embriones tempranos.
- 10.3 Estudios genéticos con *Saccharomyces pombe*.
- 10.4 Mecanismos moleculares de regulación de los eventos mitóticos.
- 10.5 Estudios genéticos con *Saccharomyces cerevisiae*.
- 10.6 Control del ciclo celular en células de mamíferos.
- 10.7 Puntos de control en la regulación del ciclo celular.
- 10.8 Meiosis: un tipo especial de división celular.
- 10.9 Nacimiento, linaje y muerte de la célula.
- 10.10 Cáncer.

BIBLIOGRAFÍA

Ahrens JB, Nunez-Castilla J, Siltberg-Liberles J. Evolution of intrinsic disorder in eukaryotic proteins. *Cell Mol Life Sci.* 2017 Sep;74(17):3163-3174. doi: 10.1007/s00018-017-2559-0. Epub 2017 Jun 8. Review. PMID: 28597295

Alber AB, Suter DM. Dynamics of Protein Synthesis and Degradation through the Cell Cycle. *Cell Cycle*. 2019 Mar 25. doi: 10.1080/15384101.2019.1598725.

Alberts, B (2016). *Biología Molecular de la célula* (5ª ED). Editorial Omega.

Bartle EI, Rao TC, Urner TM, Mattheyses AL. Bridging the gap: Super-resolution microscopy of epithelial cell junctions. *Tissue Barriers*. 2018 Jan 2;6(1):e1404189. doi: 10.1080/21688370.2017.1404189. Epub 2018 Feb 8. Review. PMID: 29420122.

Bird MJ, Radenkovic S, Vermeersch P, Cassiman D. Measuring Rates of ATP Synthesis. *Methods Mol Biol*. 2019;1862:97-107. doi: 10.1007/978-1-4939-8769-6_7. PMID: 30315462.

Johnson MP. Photosynthesis. *Essays Biochem*. 2016 Oct 31;60(3):255-273. *Biochem*. 2017 Oct 31;61(4):429. PMID: 27784776.

Boeynaems S, Tompa P, Van Den Bosch L. Phasing in on the cell cycle. *Cell Div*. 2018 Jan 25;13:1. doi: 10.1186/s13008-018-0034-4. eCollection 2018. Review. PMID: 29416553

Cohen S, Valm AM, Lippincott-Schwartz J. Interacting organelles. *Curr Opin Cell Biol*. 2018 Aug;53:84-91. doi: 10.1016/j.ceb.2018.06.003. Epub 2018 Jul 2. Review. PMID: 30006038

Dacks JB, Field MC. Evolutionary origins and specialisation of membrane transport. *Curr Opin Cell Biol*. 2018 Aug;53:70-76. doi: 10.1016/j.ceb.2018.06.001. Epub 2018 Jun 19. Review. PMID: 29929066.

Dahm R. Discovering DNA: Friedrich Miescher and the early years of nucleic acid research. *Hum Genet*. 2008 Jan;122(6):565-81. Epub 2007 Sep 28. Review. PMID: 17901982.

Hanna MG, Peotter JL, Frankel EB, Audhya A. Membrane Transport at an Organelle Interface in the Early Secretory Pathway: Take Your Coat Off and Stay a While: Evolution of the metazoan early secretory pathway. *Bioessays*. 2018 Jul;40(7):e1800004. doi: 10.1002/bies.201800004. Epub 2018 May 9. Review. PMID: 29741780.

Hardwick LJA, Azzarelli R, Philpott A. Cell cycle-dependent phosphorylation and regulation of cellular differentiation. *Biochem Soc Trans*. 2018 Oct 19;46(5):1083-1091. doi: 10.1042/BST20180276. Epub 2018 Sep 20. Review. PMID: 30242121.

Kirchhoff H. Chloroplast ultrastructure in plants. *New Phytol*. 2019 Feb 5. doi: 10.1111/nph.15730. PMID: 30721547.

Kumari N, Yadav S. Modulation of protein oligomerization: An overview. *Prog Biophys Mol Biol*. 2019 Mar 11. pii: S0079-6107(18)30196-2. doi: 10.1016/j.pbiomolbio.2019.03.003. Review. PMID:

30872157.

Lodish H, Berk A, Kaiser CA, Krieger M, Bretscher A, Ploegh H, Amon A, Scott MP. (2016). *Biología celular y molecular*. (7ª ED). Editorial Médica Panamericana.

López-García P, Eme L, Moreira D. Symbiosis in eukaryotic evolution. *J Theor Biol*. 2017 Dec 7;434:20-33. doi: 10.1016/j.jtbi.2017.02.031. Epub 2017 Feb 28. PMID: 28254477

Lusk CP, King MC. The nucleus: keeping it together by keeping it apart. *Curr Opin Cell Biol*. 2017 Feb;44:44-50. doi: 10.1016/j.ceb.2017.02.001. Epub 2017 Feb 23. Review. PMID: 28236735.

Mast FD, Barlow LD, Rachubinski RA, Dacks JB. Evolutionary mechanisms for establishing eukaryotic cellular complexity. *Trends Cell Biol*. 2014 Jul;24(7):435-42. doi: 10.1016/j.tcb.2014.02.003. Epub 2014 Mar 19. Review. PMID: 24656655.

Martínez Pérez, FJ. (2017). *Manual de laboratorio de Biología Celular*. Universidad Industrial de Santander.

Owji H, Nezafat N, Negahdaripour M, Hajiebrahimi A, Ghasemi Y. A comprehensive review of signal peptides: Structure, roles, and applications. *Eur J Cell Biol*. 2018 Aug;97(6):422-441. doi: 10.1016/j.ejcb.2018.06.003. Epub 2018 Jun 22. Review. PMID: 29958716.

Staněk D, Fox AH. Nuclear bodies: news insights into structure and function. *Curr Opin Cell Biol*. 2017 Jun;46:94-101. doi: 10.1016/j.ceb.2017.05.001. Epub 2017 May 31. Review. PMID: 28577509.

Tilokani L, Nagashima S, Paupe V, Prudent J. Mitochondrial dynamics: overview of molecular mechanisms. *Essays Biochem*. 2018 Jul 20;62(3):341-360. doi: 10.1042/EBC20170104. PMID: 30030364.

Watson H. Biological membranes. *Essays Biochem*. 2015;59:43-69. doi: 10.1042/bse0590043. Review. PMID: 26504250

Apéndice B. Búsqueda de artículos científicos relacionados con los nuevos subtemas propuestos para la asignatura de Biología Celular.

Artículo	Autores y año	Subtema
Extracellular Vesicles: Interplay with the Extracellular Matrix and Modulated Cell Responses	Al Halawani et al. (2022).	La matriz extracelular, Señalización celular
Cell-cell junctions as sensors and	Angulo-Urarte et al. (2020).	Uniones célula-célula y célula-

transducers of mechanical forces		matriz
Liquid–liquid phase separation as an organizing principle of intracellular space: overview of the evolution of the cell compartmentalization concept	Antifeeva et al. (2022).	La compartimentalización de la vida
Elevated Mutagenicity in Meiosis and Its Mechanism	Arbel-Eden y Simchen (2019).	La meiosis
The Interplay Between Cell-Cell and Cell-Matrix Forces Regulates Cell Migration Dynamics	Bajpai et al. (2019).	Uniones célula-célula y célula-matriz, Potencia y diferenciación celular
Pioneer factors as master regulators of the epigenome and cell fate	Balsalobre y Drouin (2022).	Potencia y diferenciación celular
The Microbiologist’s Guide to Membrane Potential Dynamics	Benarroch y Asally (2020).	Los motores moleculares de la célula
SUMO is a pervasive regulator of meiosis	Bhagwat et al. (2021).	La meiosis
Understanding Multicellularity: The Functional Organization of the Intercellular Space	Bich et al. (2019).	Los orígenes de la multicelularidad y la pluricelularidad
Autophagy and endocytosis – interconnections and interdependencies	Birgisdottir y Johansen (2020).	Transporte de vesículas en las células
How Cells Respond to DNA Breaks in Mitosis	Blackford y Stucki (2020).	La mitosis
Proteomic and interactomic insights into the molecular basis of cell functional diversity	Bludau y Aebersold (2020).	Los fundamentos celulares de la diversidad biológica
Adherens junctions as molecular regulators of emergent tissue mechanics	Campàs et al. (2023).	Uniones célula-célula y célula-matriz, Unión y adhesión en tejidos
Incomplete abscission and cytoplasmic bridges in the evolution of eukaryotic multicellularity	Chaigne y Brunet (2022).	Los orígenes de la multicelularidad y la pluricelularidad
Biological Membrane Organization and Cellular Signaling	Cheng y Smith (2019).	Transducción de señales celulares
Compartmentalization drives the evolution of symbiotic cooperation	Chomicki et al. (2020).	La compartimentalización de la vida
The versatile Kv channels in the nervous system: actions beyond action potentials	Chow y Leung (2020).	El potencial de acción celular

PIEZO1 and PECAM1 interact at cell-cell junctions and partner in endothelial force sensing	Chuntharpursat-Bon et al. (2023).	Uniones célula-célula y célula-matriz
Cell Communications among Microorganisms, Plants, and Animals: Origin, Evolution, and Interplays	Combarnous y Nguyen (2020).	Orígenes de la multicelularidad y la pluricelularidad
Cell matrix adhesion in cell migration	Conway y Jacquemet (2019).	Uniones célula-célula y célula-matriz, Potencia y diferenciación celular
Single-cell adaptations shape evolutionary transitions to multicellularity in green algae	Cornwallis et al. (2023).	Orígenes de la multicelularidad y la pluricelularidad
Loss of CDK4/6 activity in S/G2 phase leads to cell cycle reversal	Cornwell et al. (2023).	Etapas del ciclo celular
Triggering mitosis	Crncec y Hohegger (2019).	La mitosis
Is it possible that cells have had more than one origin?	de Farias et al. (2021).	Las primeras células
Electrochemical energy for living systems	Deamer (2021).	Los motores moleculares de la célula
Nuclear envelope remodelling during mitosis	Dey y Baum (2021).	La mitosis
Tight Junctions in Cell Proliferation	Díaz-Coránguez et al. (2019).	Unión y adhesión en tejidos, Potencia y diferenciación celular
Spatially Selective Imaging of Cell-Matrix and Cell-Cell Junctions by Electrochemiluminescence	Ding et al. (2021).	Uniones célula-célula y célula-matriz
Actin cytoskeleton dynamics in mammalian oocyte meiosis	Duan y Sun (2019).	La meiosis
Evolution of microRNAs in Amoebozoa and implications for the origin of multicellularity	Edelbroek et al. (2024).	Orígenes de la multicelularidad y la pluricelularidad
Cell cycle regulation: p53-p21-RB signaling	Engeland (2022).	Proteínas reguladoras del ciclo celular
Systematic identification of cell-fate regulatory programs using a single-cell atlas of mouse development	Fei et al. (2022).	Potencia y diferenciación celular
Transcription factor activity and nucleosome organization in mitosis	Festuccia et al. (2019).	La mitosis
Junctional complexes in epithelial	Fu et al. (2021).	Uniones célula-célula y célula-

cells: sentinels for extracellular insults and intracellular homeostasis		matriz, Unión y adhesión en tejidos
Tissue Stem Cells: Architects of Their Niches	Fuchs y Blau (2020).	Unión y adhesión en tejidos, Potencia y diferenciación celular
Origin and Early Evolution of the Eukaryotic Cell	Gabaldón (2021).	La teoría de la endosimbiosis celular
Identification of Enteroendocrine Regulators by Real-Time Single-Cell Differentiation Mapping	Gehart et al. (2019).	Potencia y diferenciación celular
Implications of mitochondrial membrane potential gradients on signaling and ATP production analyzed by correlative multi-parameter microscopy	Gottschalk et al. (2024).	El potencial de acción celular
Formation and function of bacterial organelles	Greening y Lithgow (2020).	Las primeras células
Subsurface Imaging of Cell Organelles by Force Microscopy	Guerrero et al. (2019).	Arquitectura celular eucariota
Structure of a bacterial ATP synthase	Guo et al. (2019).	Los motores moleculares de la célula
Mechanical regulation of cell-cycle progression and division	Gupta y Chaudhuri (2022).	Etapas del ciclo celular
The multiple mechanisms that regulate p53 activity and cell fate	Hafner et al. (2019).	Potencia y diferenciación celular
Shaping Organs: Shared Structural Principles Across Kingdoms	Hamant y Saunders (2020).	Los fundamentos celulares de la diversidad biológica, Potencia y diferenciación celular
Intrinsic Membrane Permeability to Small Molecules	Hanneschlaeger et al. (2019).	Movimiento de moléculas a través de las células: la Difusión y la Ósmosis
Transport of Proteins into Mitochondria	Hansen y Herrmann (2019).	Movimiento de proteínas dentro de las células
The extracellular matrix as a key regulator of intracellular signalling networks	Hastings et al. (2018).	La matriz extracelular, Señalización celular
Separase-triggered apoptosis enforces minimal length of mitosis	Hellmuth y Stemmann (2020).	La mitosis
The Configuration of RPA, RAD51, and DMC1 Binding in Meiosis Reveals the Nature of	Hinch et al. (2020).	La meiosis

Critical Recombination Intermediates		
In mitosis integrins reduce adhesion to extracellular matrix and strengthen adhesion to adjacent cells	Huber et al. (2023).	La mitosis, Uniones célula-célula y célula-matriz
A unified model for the G1/S cell cycle transition	Hume et al. (2020).	Etapas del ciclo celular
Signal transduction via integrin adhesion complexes	Humphries et al. (2019).	Transducción de señales celulares, Uniones célula-célula y célula-matriz
Mitochondrial compartmentalization: emerging themes in structure and function	Iovine et al. (2021).	La compartimentalización de la vida
The cohesin complex in mammalian meiosis	Ishiguro (2019).	La meiosis
Inside(sight) of tiny communicator: exosome biogenesis, secretion, and uptake	Jadli et al. (2020).	Secreción celular
Cyclin C: The Story of a Non-Cycling Cyclin	Ježek et al. (2019).	Proteínas reguladoras del ciclo celular
Localized, highly efficient secretion of signaling proteins by migrasomes	Jiao et al. (2024).	Secreción celular, Señalización celular, Potencia y diferenciación celular
Multiple Roles of PLK1 in Mitosis and Meiosis	Kalous y Aleshkina (2023).	Proteínas reguladoras del ciclo celular, La mitosis, La meiosis
A guide to the composition and functions of the extracellular matrix	Karamanos et al. (2021).	La matriz extracelular
Discoveries in structure and physiology of mechanically activated ion channels	Kefauver et al. (2020).	El potencial de acción celular
How and Why Chromosomes Interact with the Cytoskeleton during Meiosis	Kim et al. (2022).	La meiosis
Bub1 kinase in the regulation of mitosis	Kim y Gartner (2021).	La mitosis
APC/C Ubiquitin Ligase: Coupling Cellular Differentiation to G1/G0 Phase in Multicellular Systems	Kimata (2019).	Etapas del ciclo celular, Detención y envejecimiento celular, Señalización celular, Potencia y diferenciación celular
Comparative genomics reveals the origin of fungal hyphae and	Kiss et al. (2019).	Orígenes de la multicelularidad y la pluricelularidad

multicellularity		
Chromosome Inequality: Causes and Consequences of Non-Random Segregation Errors in Mitosis and Meiosis	Klaasen y Kops (2022).	La meiosis
Mechanisms of meiotic drive in symmetric and asymmetric meiosis	Kruger y Mueller (2021).	La meiosis
Mechanisms of Cellular Senescence: Cell Cycle Arrest and Senescence Associated Secretory Phenotype	Kumari y Jat (2021).	Detención del ciclo y envejecimiento celular
Cell Cycle-Dependent Control and Roles of DNA Topoisomerase II	Lee y Berger (2019).	Etapas del ciclo celular
Overview of the centriole architecture	LeGuenec et al. (2021).	Arquitectura celular eucariota
DNA replication and mitotic entry: A brake model for cell cycle progression	Lemmens y Lindqvist (2019).	Etapas del ciclo celular
Matrix mechanics and water permeation regulate extracellular vesicle transport	Lenzini et al. (2020).	Transporte de vesículas dentro de las células
COPII vesicles in plant autophagy and endomembrane trafficking	Li et al. (2022).	Transporte de vesículas en las células
The cell cycle in stem cell proliferation, pluripotency and differentiation	Liu et al. (2019).	Etapas del ciclo celular, Potencia y diferenciación celular
The Tubulin Code in Mitosis and Cancer	Lopes y Maiato (2020).	La mitosis
Inhibitors of Cyclin-Dependent Kinases: Types and Their Mechanism of Action	Łukasik et al. (2021).	Proteínas reguladoras del ciclo celular
Neuronal G protein-gated K ⁺ channels	Luo et al. (2022).	El potencial de acción celular
Receptor-Targeted Dual pH-Triggered Intracellular Protein Transfer	Lyu et al. (2022).	Movimiento de proteínas dentro de las células
Mitophagy, Mitochondrial Homeostasis, and Cell Fate	Ma et al. (2020).	Potencia y diferenciación celular
Intracellular delivery strategies using membrane-interacting peptides and proteins	Mai et al. (2024).	Movimiento de proteínas dentro de las células
Chapter One - An overview of	Mani y Singh (2023).	Transporte de vesículas en las

receptor endocytosis and signaling		células, Señalización celular
Why do cells need oxygen? Insights from mitochondrial composition and function	Manoj et al. (2021).	Los motores moleculares de la célula
The biological information flow: From cell theory to a new evolutionary synthesis	Marijuán y Navarro (2022).	La Teoría Celular
Molecular mechanisms governing aquaporin relocalisation	Markou et al. (2022).	Proteínas para la entrada y salida de moléculas en las células
Why have aggregative multicellular organisms stayed simple?	Márquez-Zacarías et al. (2021).	Orígenes de la multicelularidad y la pluricelularidad
Cell theory, intrinsically disordered proteins, and the physics of the origin of life	Matveev (2019).	La Teoría Celular
Where in the Cell Is our Cargo? Methods Currently Used To Study Intracellular Cytosolic Localisation	Méndez-Ardoy et al. (2018).	Movimiento de proteínas dentro de las células
The Regulated Secretion and Models of Intracellular Transport: The Goblet Cell as an Example	Mironov y Beznoussenko (2023).	Secreción celular
Primitive Compartmentalization for the Sustainable Replication of Genetic Molecules	Mizuuchi e Ichihashi (2021).	La compartimentalización de la vida
Getting around the cell: physical transport in the intracellular world	Mogre et al. (2020).	Movimiento de moléculas a través de las células: la Difusión y la Ósmosis
The second half of mitosis and its implications in cancer biology	Moreno-Andrés et al. (2023).	La mitosis
Integrin trafficking in cells and tissues	Moreno-Layseca et al. (2019).	Unión y adhesión en tejidos
Phosphatases in Mitosis: Roles and Regulation	Moura y Conde (2019).	La mitosis
Multilayered mechanisms ensure that short chromosomes recombine in meiosis	Murakami et al. (2020).	La meiosis
The cytoskeleton in phagocytosis and macropinocytosis	Mylvaganam et al. (2021).	Transporte de vesículas en las células, Arquitectura celular eucariota
Conceptual Evolution of Cell Signaling	Nair et al. (2019).	Señalización celular
ATP Synthase: Structure, Function and Inhibition	Neupane et al. (2019).	Los motores moleculares de la célula

Autophagy-dependent secretion: mechanism, factors secreted, and disease implications	New y Thomas (2019).	Secreción celular
The many roads to and from multicellularity	Niklas y Newman (2020).	Orígenes de la multicelularidad y la pluricelularidad
Protein phosphatases in the regulation of mitosis	Nilsson (2018).	La mitosis
Extracellular Matrix in the Regulation of Stem Cell Differentiation	Novoseletskaia et al. (2019).	Potencia y diferenciación celular, La matriz extracelular
RNA delivery by extracellular vesicles in mammalian cells and its applications	O'Brien et al. (2020).	Transporte de vesículas en las células
An mTORC1-to-CDK1 Switch Maintains Autophagy Suppression during Mitosis	Odle et al. (2020).	La mitosis, Proteínas reguladoras del ciclo celular
Cellular aging beyond cellular senescence: Markers of senescence prior to cell cycle arrest in vitro and in vivo	Ogrodnik (2021).	Detención del ciclo y envejecimiento celular
Expansion and Cell-Cycle Arrest: Common Denominators of Cellular Senescence	Ogrodnik et al. (2019).	Detención del ciclo y envejecimiento celular
Cyclin-Specific Docking Mechanisms Reveal the Complexity of M-CDK Function in the Cell Cycle	Örd et al. (2019).	Proteínas reguladoras del ciclo celular
Tight Junction Structure and Function Revisited	Otani y Furuse (2020).	Unión y adhesión en tejidos
Working on Genomic Stability: From the S-Phase to Mitosis	Ovejero (2020).	La mitosis, Etapas del ciclo celular
Cyclins and CDKs in the regulation of meiosis-specific events	Palacios-Blanco y Martín-Castellanos (2022).	La meiosis, Proteínas reguladoras del ciclo celular
Organization and Compartmentalization by Lipid Membranes Promote Reactions Related to the Origin of Cellular Life	Paleos (2019).	La compartimentalización de la vida
Less-well known functions of cyclin/CDK complexes	Palmer y Kaldis (2020).	Proteínas reguladoras del ciclo celular
Looking outside the box: a comparative cross-kingdom view on the cell biology of the three	Panstruga et al. (2023).	Los fundamentos celulares de la diversidad biológica

major lineages of eukaryotic multicellular life		
Regulation of mitochondrial proteostasis by the proton gradient	Patron et al. (2022).	Los motores moleculares de la célula
ROS and Oxidative Stress Are Elevated in Mitosis during Asynchronous Cell Cycle Progression and Are Exacerbated by Mitotic Arrest	Patterson et al. (2019).	La mitosis
Cell Fusion: Merging Membranes and Making Muscle	Petrany y Millay (2019).	Unión y adhesión en tejidos
Retrograde signals from endosymbiotic organelles: a common control principle in eukaryotic cells	Pfannschmidt et al. (2020).	Señalización celular, La teoría de la endosimbiosis celular
Mitochondrial signal transduction	Picard y Shirihai (2022).	Transducción de señales celulares
A guide to plasma membrane solute carrier proteins	Pizzagalli et al. (2020).	Proteínas para la entrada y salida de moléculas en las células
Prebiotic chemical refugia: multifaceted scenario for the formation of biomolecules in primitive Earth	Prosdocimi et al. (2020).	Las moléculas de la vida
Crossing and zipping: molecular duties of the ZMM proteins in meiosis	Pyatnitskaya et al. (2019).	La meiosis
A Comprehensive Review on Intracellular Delivery	Rad et al. (2021).	Movimiento de proteínas dentro de las células
Extracellular vesicles are integral and functional components of the extracellular matrix	Rilla et al. (2019).	La matriz extracelular, Transporte de vesículas en las células
Passive coupling of membrane tension and cell volume during active response of cells to osmosis	Roffay et al. (2021).	Movimiento de moléculas a través de las células: la Difusión y la Ósmosis
The origin of animals: an ancestral reconstruction of the unicellular-to-multicellular transition	Ros-Rocher et al. (2021).	Los orígenes de la multicelularidad y la pluricelularidad
The Origin of Metazoan Multicellularity: A Potential Microbial Black Swan Event	Ruiz-Trillo et al. (2023).	Los orígenes de la multicelularidad y la pluricelularidad
Prebiological Membranes and Their Role in the Emergence of Early Cellular Life	Sarkar et al. (2020).	La compartimentalización de la vida
Proton gradient across the	Sekiguchi et al. (2024).	Los motores moleculares de la

chloroplast thylakoid membrane governs the redox regulatory function of ATP synthase		célula
COPII vesicles contribute to autophagosomal membranes	Shima et al. (2019).	Transporte de vesículas en las células
Stem cell differentiation trajectories in Hydra resolved at single-cell resolution	Siebert et al. (2019).	Potencia y diferenciación celular
Endocytosis in the context-dependent regulation of individual and collective cell properties	Sigismund et al. (2021).	Transporte de vesículas en las células, Señalización celular
Do as I say, Not(ch) as I do: Lateral control of cell fate	Sjöqvist y Andersson (2019).	Potencia y diferenciación celular
Synaptic Vesicle Recycling Pathway Determines Neurotransmitter Content and Release Properties	Silm et al. (2019).	Transporte de vesículas dentro de las células, Señalización celular
Claspin – checkpoint adaptor and DNA replication factor	Smits et al. (2018).	Etapas del ciclo celular
Pluripotency and the origin of animal multicellularity	Sogabe et al. (2019).	Orígenes de la multicelularidad y la pluricelularidad, Potencia y diferenciación celular
Type I Secretion Systems—One Mechanism for All?	Spitz et al. (2019).	Movimiento de proteínas dentro de las células
PAS domains in bacterial signal transduction	Stuffle et al. (2021).	Transducción de señales celulares
Tubular lysosomes harbor active ion gradients and poise macrophages for phagocytosis	Suresh et al. (2021).	Los motores moleculares de la célula, Señalización celular
The structure of COPI vesicles and regulation of vesicle turnover	Taylor et al. (2022).	Transporte de vesículas en las células
Selective drivers of simple multicellularity	Tong et al. (2022).	Orígenes de la multicelularidad y la pluricelularidad
Kinetic coupling of the respiratory chain with ATP synthase, but not proton gradients, drives ATP production in cristae membranes	Toth et al. (2019).	Los motores moleculares de la célula
Mitochondrial fusion is required for spermatogonial differentiation and meiosis	Varuzhanyan (2022).	La meiosis
Cysteine cathepsins in extracellular matrix remodeling: Extracellular	Vizovišek et al. (2019).	La matriz extracelular

matrix degradation and beyond		
Mechanisms for Regulating and Organizing Receptor Signaling by Endocytosis	von Zastrow y Sorkin (2021).	Transporte de vesículas en las células
Timing the origin of eukaryotic cellular complexity with ancient duplications	Vosseberg et al. (2021).	La teoría de la endosimbiosis celular
Regulation of Cell Cycle Progression by Growth Factor-Induced Cell Signaling	Wang (2021).	Etapas del ciclo celular, Señalización celular
Cellular and Structural Studies of Eukaryotic Cells by Cryo-Electron Tomography	Weber et al. (2019).	Arquitectura celular eucariota
Electric-Eel-Type Bi-Ionic Gradient Battery	Xiao et al. (2023).	El potencial de acción celular
Eukaryotic Cell Size Control and Its Relation to Biosynthesis and Senescence	Xie et al. (2022).	Arquitectura celular eucariota
Release and uptake mechanisms of vesicular Ca ²⁺ stores	Yang et al. (2019).	Transporte de vesículas dentro de las células
A Translocation Pathway for Vesicle-Mediated Unconventional Protein Secretion	Zhang et al. (2020).	Secreción celular
Mitochondrial electron transport chain, ROS generation and uncoupling (Review)	Zhao et al. (2019).	Los motores moleculares de la célula
The role of 3D genome organization in development and cell differentiation	Zheng y Xie (2019).	Potencia y diferenciación celular
Primitive membraneless compartments as a window into the earliest cells	Jia (2023).	La compartimentalización de la vida

Apéndice C. Lista de recursos TIC propuestos por cada subtema.

Subtema	Nombre del video disponible en JoVE	Artículo	Contenido adicional
Las moléculas de la vida	What are lipids, Nucleic Acids, Protein and Protein structures, Chemistry of the cell	Retrograde signals from endosymbiotic organelles: a common control principle un eukaryotic cells de Pfannschmidt et al. (2020). Títulos del 1 al 3.	NA
La compartimentalización de la vida	Eukaryotic compartmentalization	NA	NA
La Teoría Celular	NA	NA	NA
Los fundamentos celulares de la diversidad biológica	Cell diversity	NA	NA
Las primeras células	Prokaryotic cells	NA	NA
La teoría de la endosimbiosis celular	Eukaryotic evolution	NA	NA
Arquitectura celular eucariota	NA	The cytoskeleton in phagocytosis and macropinocytosis (Mylvaganam et al., 2021)	Modelo 3D: Animal and Plant Cell Explorer. Disponible en Effigos
Movimiento de moléculas a través de las células, la Difusión y la Ósmosis	Osmosis, Diffusion	NA	Simulación: Diffusion and Osmosis. Disponible en Biology Simulations
Proteínas para la entrada y salida de moléculas en las células.	Facilitated transport, Non-gated ion channels	NA	NA

Los motores moleculares de la célula	Ions: an electrochemical gradient, Electrochemical gradient and channel proteins: a review, Primary active transport, Secondary active transport	NA	NA
El potencial de acción celular	Action potential, Action potential: phases of stimulation, Propagation of action potentials, Overview of synapses, Chemical synapses, Neurotransmitters	NA	NA
Transporte de vesículas dentro de las células	Introduction to membrane traffic, Endocytosis and exocytosis: clathrin coated pits and snares, Membranes and cellular transport, Endocytosis and Exocytosis	The cytoskeleton in phagocytosis and macropinocytosis (Mylvaganam et al., 2021)	NA
Secreción celular	Overview of exosomes, ER retrieval pathway	Localized, highly efficient secretion of signaling proteins by migrasomes (Jiao et al., 2024)	NA
Movimiento de proteínas dentro de las células	Transport across the Golgi, COP coated vesicles, Clathrin coated vesicles, Delivery pathways to the lysosome, Autophagy	NA	NA

<p>Transducción de señales celulares</p>	<p>What is cell signaling, Autocrine signaling and cytokines, Paracrin signaling and vasodilation, Mechanism of endocrine signaling, Second messengers in cellular response, MAPK signaling cascades</p>	<p>Retrograde signals from endosymbiotic organelles: a common control principle un eukaryotic cells de Pfannschmidt et al. (2020). Títulos del 4 al 10.</p>	<p>NA</p>
<p>Proteínas regulatorias del ciclo celular</p>	<p>The cell cycle control system, Inhibition of CDK activity, Molecular factors affecting cell division</p>	<p>NA</p>	<p>NA</p>
<p>Etapas del Ciclo Celular</p>	<p>Interphase, CDK initiates DNA replication</p>	<p>NA</p>	<p>NA</p>
<p>Detención y envejecimiento celular</p>	<p>DNA damage can stall the cell cycle, Replicative cell senescence, Mitogens and the cell cycle</p>	<p>NA</p>	<p>NA</p>
<p>La mitosis</p>	<p>M-CDK drives transition into mitosis, Cell division, Abnormal proliferation, Apoptosis</p>	<p>In mitosis integrins reduce adhesion to extracellular matrix and strengthen adhesion to adjacent cells de Huber et al. (2023). Títulos 1 a 3.</p>	<p>Modelo 3D: Animal and Plant Cell Explorer. Disponible en Effigos</p>
<p>La meiosis</p>	<p>Todos los videos del Capítulo 19 de Molecular Biology Core: Meiosis</p>	<p>NA</p>	<p>Modelo 3D: Animal and Plant Cell Explorer. Disponible en Effigos</p>

El origen de la multicelularidad y la pluricelularidad	NA	NA	NA
La matriz extracelular	The extracellular matrix	NA	NA
Uniones célula-célula y célula-matriz	Gap junctions, Plasmodesmata	NA	Modelo 3D: Intercellular Junctions, disponible en Sketchfab
Unión y adhesión en tejidos	Cell adhesion: molecule, types and functions	In mitosis integrins reduce adhesion to extracellular matrix and strengthen adhesion to adjacent cells de Huber et al. (2023). Títulos 5 a 8.	NA
Potencia y diferenciación celular	Cells coordinate growth and proliferation, Cellular differentiation, Determination	Localized, highly efficient secretion of signaling proteins by migrasomes (Jiao et al., 2024)	NA
Epitelios		NA	
Tejido muscular		NA	
Tejido conectivo	Tissues	NA	Laboratorio virtual: Atlas de Histología Animal y Vegetal.
Tejido neural		NA	Disponible en el repositorio del Depto. de Biología Funcional y Ciencias de la Salud, Universidad de Vigo, España.
Epidermis vegetal		NA	
Tejido vascular		NA	
Tejidos primarios	Plant tissues	NA	
Tejido meristemático		NA	

