

PROYECTO NATURA



12/05/2025

El complejo del poro nuclear: transporte entre núcleo y citoplasma

RESUMEN DEL PROYECTO

Este proyecto, titulado “El complejo del poro nuclear: transporte entre núcleo y citoplasma”, tiene como objetivo acercar a alumnos de colegio e instituto conceptos básicos del campo de la bioquímica.

Para comprender, estudiar y explicar el tema elegido es necesario, además, profundizar en otros muchos aspectos tales como la dinámica celular, el “crosstalk” entre moléculas, el paso de la información genética desde el DNA hasta las proteínas y la importancia del núcleo como elemento central y regulador en las células eucariotas. Así pues, este proyecto pretende ofrecer una visión completa del funcionamiento de las células a nivel bioquímico, centrándose, a su vez, en un elemento concreto como son los complejos del poro nuclear (o NPC por sus siglas en inglés).

De forma muy breve, se pueden definir los NPC como complejos proteicos insertados en los poros de la envoltura nuclear en células eucariotas. Desde allí, estos complejos permiten el transporte de moléculas entre el núcleo y el citoplasma. No obstante, esta no es la única función que realizan, ya que también participan en la regulación de la expresión génica y la organización espacial de la cromatina. Por todo esto, se postulan como elementos clave para el correcto funcionamiento de las células eucariotas.

El proyecto desarrollado se puede dividir en tres fases:

- La fase 1, que comprendió 3 sesiones de carácter teórico-práctico en las que los alumnos de secundaria adquirieron toda la información necesaria acerca del tema del proyecto.
- La fase 2, que duró 2 sesiones en las que los mismos alumnos de secundaria trabajaron en grupo para preparar el proyecto final en base a los conocimientos aprendidos en la fase 1.
- Finalmente, la fase 3, en la que el proyecto final fue llevado a primaria en una única sesión, en la que participaron de forma activa e integrada tanto los alumnos de secundaria como los de primaria.

PROYECTO NATURA

EL COMPLEJO DEL PORO NUCLEAR: TRANSPORTE ENTRE NÚCLEO Y CITOPLASMA

1. EQUIPO PARTICIPANTE

ÁREA TEMÁTICA: BIOQUÍMICA			
TÍTULO DEL PROYECTO: 'El complejo del poro nuclear: transporte entre núcleo y citoplasma'			
	Nombre y apellidos	Centro	Localidad
Alumna UVEG	Carla Ceprià Sabater	Universitat de València	Burjasot
Profesora de la UVEG	Mercè Gomar Alba	Universitat de València	Burjasot
Profesora de secundaria	Alicia Dalmau Alcina		
Maestro de Primaria	Francisco Tapia Lerma		

ALUMNOS DE SECUNDARIA PARTICIPANTES	Curso	Asignatura
5 alumnos	1º Bachillerato	Biología Humana

Número de alumnos de primaria que pueden participar: 27

Curso recomendado: 6º Primaria

PROYECTO INTERDEPARTAMENTAL: No

DEPARTAMENTOS QUE INTERVIENEN: Bioquímica

2. OBJETIVOS

2.1. TEMA EN EL QUE SE ENMARCA EL PROYECTO

El proyecto se centra en el estudio del transporte celular de moléculas entre núcleo y citoplasma, y pone el foco en la estructura molecular que media estos movimientos: los complejos del poro nuclear. Por todo esto, el proyecto queda enmarcado – dentro del ámbito de las Ciencias Naturales – en el área de la Biología; más concretamente, en el campo de la Bioquímica.

El NPC es, actualmente, uno de los elementos celulares más estudiados en el campo de la bioquímica, dada su relevancia en las células eucariotas. Lleva siendo objeto de estudio más de 70 años, desde que se descubrió su existencia en 1949 mediante técnicas de microscopía electrónica¹. Las primeras deducciones asociaron exclusivamente funciones de transporte a este complejo, consolidándolo como un elemento estático, destinado a ejercer de ‘canal de paso’ para una enorme cantidad de moléculas en las células. Así pues, durante las primeras décadas, la investigación sobre los NPC se centró prácticamente en exclusiva a la descripción de su estructura e identificación de sus componentes, las nucleoporinas¹. No obstante, los hallazgos en las investigaciones realizadas a partir de los años 2000 cambiaron radicalmente el enfoque y la visión preexistentes sobre el NPC. Este comenzó a contemplarse como una estructura dinámica, implicada en múltiples funciones celulares, más allá de su ya conocido rol en el transporte nucleocitoplasmático. Su carácter dinámico se justifica por la implicación de este complejo en procesos como la mitosis, la regulación del ciclo celular, la interacción con la cromatina y la regulación de la expresión génica¹. Además, el reciente descubrimiento de la implicación de los NPC en enfermedades neurodegenerativas, del desarrollo, así como cáncer e infecciones virales, posiciona estos complejos en el foco actual de las investigaciones bioquímicas y biomédicas.

Por todo esto, el NPC se ha consagrado como un elemento de estudio central en el campo de la Bioquímica. Las investigaciones en este ámbito están cada vez más cerca de elucidar la totalidad de las funciones que este complejo desempeña, lo que podría ser crucial para comprender otros muchos fenómenos celulares que conforman la base molecular de la vida. Así pues, no cuesta imaginar el impacto que esto podría tener en el mundo de la biología, y de las Ciencias de la vida en general.

2.1.1 BLOQUE TEMÁTICO DE PRIMARIA Y SECUNDARIA

Este proyecto que, como ya se ha mencionado, queda enmarcado en el ámbito de la bioquímica, pertenece a los siguientes bloques temáticos en los niveles educativos de primaria y secundaria:

- **Primaria (6º curso):**

Área de Ciencias de la Naturaleza. En este bloque se explican conceptos de las ciencias naturales, como lo son las bases del funcionamiento del cuerpo humano, entre otros².

- **Secundaria (1º Bachillerato):**

Área de Biología, y bloques temáticos “Genética molecular” y “Biología celular”. En estos bloques se estudian, respectivamente, los procesos de expresión génica y las células (tipos y componentes)³.

2.2 CONCEPTO A TRANSMITIR

- **Idea principal:**

El tema central del proyecto son los complejos del poro nuclear y su función como transportadores bidireccionales de moléculas en el núcleo de células eucariotas. No obstante, dado que la cantidad de moléculas que se transportan mediante este sistema es tan elevada, se ha puesto el foco en un único tipo: las proteínas.

Así pues, la idea principal del proyecto es el transporte de proteínas mediado por los complejos del poro nuclear.

- **Palabras clave:**

Complejo del poro nuclear, envoltura nuclear, proteínas, secuencia de localización nuclear, importación nuclear, secuencia de exportación nuclear, exportación nuclear, RNAs, transcripción, traducción, núcleo.

2.3 OBJETIVOS

PRIMARIA

Objetivos didácticos:

1. Recordar fundamentos complejos mediante el uso de comparaciones.
2. Aprender mediante juegos, representaciones y enseñanzas prácticas.
3. Debatir y contrastar ideas y resultados del aprendizaje, para llegar a conclusiones conjuntas.

Objetivos científicos:

1. Enumerar las partes básicas de una célula eucariota.
2. Identificar la estructura y citar la principal función de un NPC.
3. Reconocer los principales elementos del sistema de transporte nuclear y asociarlos a las diferentes rutas de transporte nucleocitoplasmático.
4. Deducir y asimilar la naturaleza dinámica de las células y de las moléculas que las forman.

SECUNDARIA:

Objetivos didácticos:

1. Diseñar y elaborar modelos tridimensionales reales de estructuras microscópicas, para visualizarlas y comprenderlas en mayor profundidad.
2. Proponer, defender y acordar soluciones grupalmente frente a diferentes preguntas o evaluaciones.
3. Aplicar e integrar nociones teóricas para llevarlas a la práctica.
4. Proponer ideas y diseñar estrategias didácticas en grupo.
5. Transmitir conocimientos de forma clara y directa a otras personas.

Objetivos científicos:

1. Interpretar y describir con precisión la estructura, partes y componentes del NPC.
2. Enumerar funciones e implicaciones celulares de los NPC (además del transporte activo de proteínas).
3. Diferenciar las bases del transporte pasivo y activo.
4. Listar los tipos de moléculas que forman el sistema de transporte nuclear (NTS), así como explicar sus funciones principales.

5. Describir la trayectoria de las principales moléculas transportadas activamente a través de los NPC, desde sus lugares de biogénesis hasta sus lugares de actuación.
6. Identificar y distinguir los componentes de las dos rutas principales de transporte activo de proteínas a través de los NPC.

2.4. COMPETENCIAS BÁSICAS

Según el Real Decreto 157/2022, de 1 de marzo, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria y el Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria, se entiende por competencias básicas (o competencias clave) “aquellos desempeños que se consideran imprescindibles para que el alumnado pueda progresar con garantías de éxito en su itinerario formativo, y afrontar los principales retos y desafíos globales y locales”.

Siguiendo esta definición, y el listado de competencias clave publicado por el Ministerio de educación, formación profesional y deportes del Gobierno de España, el proyecto buscar trabajar las siguientes:

- **Competencia en comunicación lingüística.**

Se ha impulsado mediante la interacción, principalmente de forma oral, entre todos los estudiantes. Estas interacciones han tenido lugar entre estudiantes del mismo nivel educativo (entre todos los de secundaria, y entre todos los de primaria), de niveles educativos diferentes (entre los de primaria y secundaria), así como entre los estudiantes y los responsables del proyecto (entre los estudiantes y yo, como alumna de la UVEG, y los profesores de cada curso).

- **Competencia matemática y en ciencia, tecnología e ingeniería.**

La competencia en ciencia se ha consolidado a lo largo de todo el proyecto, a través de diferentes observaciones y explicaciones sobre el campo de la biología, que han llevado a los estudiantes a una mejor comprensión del entorno natural (en este caso, del funcionamiento interno de los seres vivos).

- **Competencia personal, social y de aprender a aprender.**

Se ha fortalecido, de forma más evidente en los estudiante de secundaria, por la necesidad de gestionar información; primero, para comprenderla y, más tarde, para transmitirla. Además, los estudiantes se han visto impulsados a adaptarse a cambios en cuanto a la forma de recibir y asimilar conocimientos (cambios de las clases teóricas habituales por clases con metodología de aprendizaje-servicio), y a colaborar con otras personas en su misma situación educativa de forma constructiva y empática.

- **Competencia emprendedora**

Se ha trabajado al adaptar ideas a un nuevo público objetivo (alumnos de primaria) en función de sus conocimientos y necesidades. Además, al acercar proyectos didácticos a alumnos de otras edades, se pretende despertar en ellos el interés a aprender y a plantearse ideas nuevas usando la imaginación y las nociones adquiridas previamente sobre el tema.

3. MATERIALES Y METODOLOGIA

Materiales:

- Presentación de PowerPoint con la información teórica, en versión digital y en papel.
- Materiales para la construcción de maquetas (para 1 maqueta):
 - 24 bolas de poliestireno, de 3 colores diferentes (8 bolas/color).
 - 3 trozos de alambre, cortados con la medida para atravesar 8 bolas de poliestireno cada uno.
 - 16 trozos de limpiapipas (de medida libre), de 2 colores diferentes (8 trozos/color)
 - Pegamento líquido fuerte
- Materiales para el juego de preguntas:
 - Carteles/presentación de PowerPoint con las preguntas y las posibles respuestas (4 o 3 respuestas/pregunta)
 - Cartulina/folio de tamaño grande con las 4 opciones de respuesta (opciones: A, B, C y D)
 - Fichas/monedas de chocolate/bolas de papel para “apostar” por las diferentes respuestas.
- Materiales para el juego de cartas:
 - Una baraja, formada por:
 - 24 cartas de “Proteína”, de 3 colores diferentes (8 cartas/color).
 - 21 cartas de “NPC”.
 - 9 cartas de “Transportina”, de 3 colores diferentes (3 cartas/color).
 - 21 cartas de “Importina-beta”, de 3 colores diferentes (7 cartas/color).
 - 21 cartas de “Importina-alfa”, de 3 colores diferentes (7 cartas/color).
 - 6 cartas de “Exportina”, de 3 colores diferentes (2 cartas/color)
 - 6 cartas de “Proteasa”, de 3 colores diferentes (2 cartas/color)
 - 4 cartas de “Virus”
 - 4 cartas de “Tratamiento antiviral”
 - 3 cartas de “Intercambio”
 - 1 carta de “Robo”
 - Manual de instrucciones de la baraja
- Materiales para la explicación teórica en primaria:
 - Maquetas del NPC
 - 2 posters: uno en que se representa una célula con sus moléculas, y otro en que se representa una ciudad con sus habitantes.
- Materiales para la representación del teatro en primaria:
 - Cartas con los personajes de “Ciudad”
 - 1 carta de “Niño”
 - 1 carta de “Padre”
 - 1 carta de “Madre”
 - 1 carta de “Niña”
 - 1 carta de “Abuela”
 - 1 carta de “Director”
 - 2 cartas de “Profesor/a”
 - 2 cartas de “Niño/a enfermo/a”
 - 2 cartas de “Ladrón”

- 2 cartas de “Conserje”
- Cartas con los personaje de “Célula”
 - 1 carta de “Proteína 1”
 - 1 carta de “Importina B”
 - 1 carta de “Importina A”
 - 1 carta de “Proteína 2”
 - 1 carta de “Importina T”
 - 1 carta de “Proteína 3”
 - 2 cartas de “Exportina”
 - 1 carta de “proteína 4”
 - 1 carta de “Proteína 5”
 - 1 carta de “Virus”
 - 2 cartas de “Complejo del poro nuclear”
- Guiones con los diálogos de:
 - Madre, abuela, profesor, conserje
 - Importina A, importina T, exportina, complejo del poro nuclear
- 1 cuerda para separar los dos espacios de la representación

Metodología:

Durante el desarrollo del proyecto se emplearon múltiples metodologías didácticas, dependiendo del tipo de conocimiento que se pretendía trasladar a los alumnos en cada momento. El conjunto de las estrategias empleadas tenía como objetivo hacer llegar las ideas al público objetivo de la forma más adecuada posible, haciendo así del aprendizaje un proceso ameno y enriquecedor.

Las metodologías empleadas fueron las siguientes:

1. Aprendizaje Servicio

- **En general, para todas las fases del proyecto.**

Basada en la creación de un proyecto perfectamente articulado, esta metodología persigue dos objetivos fundamentales: aprender y servir.

Por un lado, busca ofrecer experiencias de aprendizaje basadas en metodologías que prescinden, en la medida de lo posible, de la concepción individualista y acumulativa del conocimiento. Por otro lado, se centra en exponer y trabajar con necesidades reales del entorno con el fin último de mejorarlo, a la misma vez que pretende impactar en el desarrollo vocacional y profesional de las personas participantes⁴.

Tomando estas ideas como base sólida de la propuesta, todas las sesiones se han diseñado para incluir juegos, representaciones, experiencias prácticas, y para fomentar en todo momento la cooperatividad, como se explica en los apartados siguientes. Además, este proyecto, espera despertar en los alumnos más jóvenes un interés hacia el mundo de la investigación biomédica, al tratar de una forma tan cercana e integradora temas de gran interés en este campo.

Por todo esto, se pone de manifiesto el potencial – tanto educativo como social – de esta estrategia.

2. Clase magistral

- **Al inicio de todas las sesiones de la fase 1 y 3.**

La clase magistral es una metodología tradicional que se fundamenta en la explicación teórica de unos contenidos por parte de un profesor, experto en la materia. Normalmente, en este tipo de sesiones, es este experto el que habla la mayor parte del tiempo, dirigiendo así el ritmo de la clase y los contenidos a impartir. El objetivo final es facilitar al alumnado la comprensión de conceptos complejos⁵.

Esta metodología se ha empleado de forma bastante recurrente a lo largo del proyecto con el objetivo de introducir conceptos teóricos novedosos para el alumnado. Se ha usado, principalmente, en las fases 1 y 3.

3. Aprendizaje manipulativo/experiencial

- **Al final de la sesión 1 de la fase 1.**

El aprendizaje manipulativo o experiencial es una metodología centrada en el estudiante, que busca promover la construcción activa del conocimiento mediante la interacción directa con materiales concretos, objetos reales o simulaciones. Esta estrategia fusiona experiencia y aprendizaje, dos términos directamente relacionados e inseparables⁶.

Durante el proyecto se ha empleado en la segunda mitad de la sesión 1, con la finalidad de plasmar la estructura de los NPC mediante la creación de maquetas a nivel macroscópico. El objetivo era profundizar en los detalles estructurales durante, y *a posteriori*, del proceso de montaje.

4. Gamificación

- **Al final de las sesiones 2 y 3 de la fase 1.**

La gamificación – es decir, el aprendizaje mediante juegos – ha sido la metodología central y más importante de todo el proyecto. A través de los juegos se busca captar de forma más activa la atención del alumnado, así como incrementar la participación, la interacción y la adquisición y retención de los conocimientos⁷.

Este formato de clases se ha aplicado en dos momentos a lo largo del proyecto. En primer lugar, al final de la sesión 2. Esta se cerró con un juego de preguntas sobre los conceptos previamente explicados. En segundo lugar, al final de la sesión 3; esta vez, mediante un juego de mesa (juego de cartas).

5. Aprendizaje basado en proyectos (ABP)

- **Fase 2.**

El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) es una metodología activa que sitúa a los alumnos como protagonistas de su propio aprendizaje. Consiste en la elaboración un proyecto final, durante la creación del cual se integran múltiples conocimientos y se fomentan habilidades como la colaboración, el pensamiento crítico y la autonomía. Este enfoque permite a los alumnos aplicar los saberes adquiridos para lograr un objetivo claro, promoviendo así un aprendizaje más activo y, por tanto, más duradero en el tiempo⁸.

Este tipo de sesión se ha implementado durante toda la fase 2, ya que el objetivo de esta era crear el proyecto destinado a los alumnos de primaria. Para ello, los alumnos tuvieron que emplear todos los conocimientos previamente adquiridos y comprendidos, además de múltiples habilidades creativas, lógicas y de cooperación.

6. Teatro pedagógico

- Fase 3.

El teatro pedagógico es una estrategia educativa que utiliza la dramatización como herramienta para fomentar el aprendizaje activo. Al involucrar a los estudiantes de forma práctica en la sesión – mediante la representación de aquellas situaciones que se pretenden transmitir – se facilita la comprensión de los contenidos teóricos. Asimismo, se promueve el desarrollo de habilidades comunicativas, la empatía y la reflexión crítica, creando un entorno de aprendizaje dinámico y participativo⁹.

Este recurso didáctico ha sido el elegido para el desarrollo de toda la fase 3, ya que se ha considerado el más adecuado para trabajar con alumnos de corta edad (11 años). Así pues, estos alumnos representaron un teatro en el que estaban presentes todos los elementos centrales del tema que se quería transmitir: el transporte de proteínas entre núcleo y citoplasma.

Sitio y/o requerimientos de espacio

Los espacios empleados para el desarrollo del proyecto han sido los siguientes:

- Aula de teoría con pizarra y mesas grandes para poder realizar las actividades y juegos.
- Patio del colegio, con mesas y sillas para los alumnos, y un gran espacio al aire libre para la representación del teatro.

4. DESCRIPCIÓN DETALLADA

El proyecto se puede dividir en tres fases. Cada una de ellas tiene como objetivo alcanzar determinados resultados, que servirán como base para las siguientes. Así pues, las tres fases de este proyecto son:

- **Fase 1:** Bases teóricas en secundaria.
- **Fase 2:** Creación y preparación del proyecto final en secundaria.
- **Fase 3:** Desarrollo del proyecto final en primaria.

Adicionalmente, el proyecto finaliza en la feria de Expociencia, en la que este se acerca y presenta al público general asistente.

Cada una de las fases se desarrolla en diferentes sesiones, siguiendo el cronograma mostrado en la figura 1.

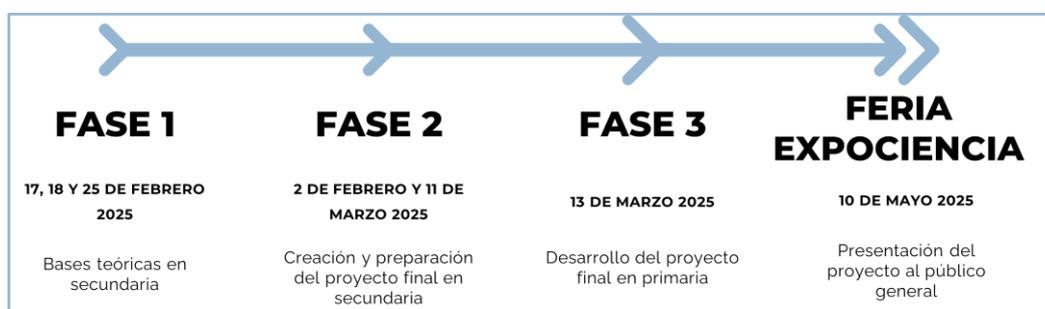


Figura 1. Cronograma del proyecto. En la línea superior se muestran las fases del proyecto, seguidas por las fechas en las que se desarrollaron y el objetivo de estas.

Tras obtener una visión general de la propuesta, a continuación se analizan con detalle los objetivos y metodologías empleados en cada una de las sesiones.

4.1. FASE 1

La fase 1 se divide, a su vez, en tres sesiones. En todas ellas se ha seguido la misma estrategia docente: la primera mitad de las clases se ha dedicado a la explicación teórica correspondiente, y la segunda mitad, a la aplicación práctica de dicha teoría. El objetivo de este planteamiento ha sido espaciar las sesiones de tipo clase magistral, para no saturar a los alumnos y así aumentar su grado de concentración e implicación en las clases. Las dos primeras sesiones han servido como base para poder trabajar sobre el tema central del proyecto – el transporte de proteínas a través de los NPC – en la última sesión.

Para averiguar el nivel de los alumnos y poder adaptar las clases a sus conocimientos previos, antes de empezar el proyecto realizaron un cuestionario. A través de sus respuestas, se pudo ver que:

- Todos conocían perfectamente qué y cómo son las células eucariotas.
- Al menos la mitad de ellos conocían el ‘Dogma Central de la Biología molecular’ y, por tanto, habían oído hablar del DNA, el RNA y las proteínas, y de sus interacciones.
- Todos recordaban haber estudiado las bases del transporte activo y pasivo de moléculas, aunque solo tres de ellos habían oído hablar sobre los NPC.

Así pues, partiendo de esta información, se plantearon las siguientes sesiones.

4.1.1. SESIÓN 1

Objetivo principal:

- Transmitir las bases teóricas a los alumnos de secundaria: Introducción teórica a la célula eucariota y los NPC (funciones generales y estructura).

Objetivo didáctico:

1. Diseñar y elaborar modelos tridimensionales reales de estructuras microscópicas, para visualizarlas y comprenderlas en mayor profundidad.

Objetivo científico:

1. Interpretar y describir con precisión la estructura, partes y componentes del NPC.
2. Enumerar funciones e implicaciones celulares de los NPC (además del transporte activo de proteínas).

Metodología:

- Clase magistral + aprendizaje basado en modelos

- **Parte 1: teoría**

En esta primera sesión se abordaron bases teóricas sencillas, mediante una explicación a modo de clase magistral, apoyada en una presentación de PowerPoint en formato digital e impreso (para que los alumnos pudieran tomar notas). Empezamos recordando cómo se estructuran las células eucariotas y cómo el núcleo crea una división espacial en estas células, separando los procesos de replicación y transcripción del DNA, de la traducción del RNA. Después de haber comprendido el dinamismo molecular que existe dentro de las células, se introdujo el concepto de NPC. Sobre este complejo se estudiaron las principales funciones, haciendo especial hincapié en el transporte de moléculas. Para terminar, se estudió en detalle la estructura de los NPC, ya que resulta esencial para comprender el papel de estos complejos como transportadores moleculares.

- **Parte 2: práctica**

Una vez vista la teoría, se construyeron las maquetas. Concretamente se construyeron 2, por lo que todos los alumnos pudieron participar de forma activa en el proceso. A la misma vez que se construían, se fueron nombrando las partes, explicando en qué función estaban implicadas y a qué componente estructural pertenecían. Todo esto se llevó a cabo de forma grupal y muy cooperativa.

4.1.2. SESIÓN 2

Objetivo principal:

- Transmitir las bases teóricas a los alumnos de secundaria: Introducción teórica a los principios del transporte de moléculas a través del NPC.

Objetivo didáctico:

3. Proponer, defender y acordar soluciones grupalmente frente a diferentes preguntas o evaluaciones.

Objetivos científicos:

3. Diferenciar las bases del transporte pasivo y activo.
4. Listar los tipos de moléculas que forman el sistema de transporte nuclear (NTS), así como explicar sus funciones principales.
5. Describir la trayectoria de las principales moléculas transportadas activamente a través de los NPC, desde sus lugares de biogénesis hasta sus lugares de actuación.

Metodología:

Clase magistral + gamificación

- **Parte 1: teoría**

En la segunda sesión, se puso el foco en estudiar el transporte a través de los ya conocidos NPC. Siguiendo la misma estrategia que en la sesión anterior, se recordaron las diferencias entre transporte pasivo y activo y se vieron ejemplos de moléculas que emplean cada una de las vías, para acabar centrándonos en el transporte activo, ya que es el más complejo y sobre el que iba a tratar el resto del proyecto. Se estudió el sistema de transporte nuclear (NTS) y las familias de proteínas que lo forman, mencionando las funciones y características principales de cada una. Finalmente, se volvió a remarcar la importancia que tiene la compartimentalización celular de los procesos de replicación, transcripción y traducción en la dinámica del transporte activo de moléculas, dirigiendo de nuevo el proyecto hacia el objetivo final: comprender el transporte activo de proteínas entre núcleo y citoplasma.

- **Parte 2: práctica**

Para la segunda parte de clase, y teniendo en cuenta que la teoría previamente explicada incluía gran cantidad de nombres, funciones y conceptos que memorizar, se diseñó un juego de preguntas. Al ser tan pocos alumnos, se consideró como viable la opción de jugar como un equipo, antes que hacerlo como rivales. Por todo esto, la mecánica de este juego se basó en el concurso de televisión “Atrapa un millón”.

El concurso constó de 6 preguntas, mostradas en mi ordenador. Durante las cinco primeras, los alumnos debían elegir un tema entre dos que se proponían; la pregunta final era de tema único. De esta manera, cada uno de los cinco alumnos pudo elegir un tema en alguna de las rondas. Un ejemplo real de la elección de temas sería: ‘Nucleoporinas’ o ‘NTS’.

Una vez uno de los alumnos había elegido un tema (siguiendo con el ejemplo, podría ser ‘NTS’), se mostraba en el ordenador la pregunta correspondiente a dicho tema, y sus 4 posibles respuestas, representadas con 4 letras (A, B, C y D). A partir de este momento, tenían 90 segundos para decidir entre todos cuál era la correcta. Para responder, los alumnos contaban con una cartulina dividida en 4 secciones (A, B, C y D) y con una determinada cantidad de fichas (en este caso, monedas de chocolate, haciendo un guiño al programa original en el que se juega con billetes). Si todos coincidían en la elección de la respuesta, jugaban todas las monedas a dicha respuesta. En caso de división de opiniones, debían decidir cómo repartir estas fichas entre las opciones que se planteaban, teniendo en cuenta que aquellas que se colocaran en opciones erróneas, se perderían para la ronda siguiente.

Siguiendo esta dinámica, se jugaron las seis rondas de preguntas, en las que se trataron todos los temas vistos en la parte teórica de la sesión.

4.1.3. SESIÓN 3

Objetivo principal:

- Transmitir las bases teóricas a los alumnos de secundaria: Introducción teórica a las rutas de transporte de proteínas a través del NPC.

Objetivo didáctico:

- 6. Aplicar e integrar nociones teóricas para llevarlas a la práctica.

Objetivos científicos:

- 6. Identificar y distinguir los componentes de las dos rutas principales de transporte activo de proteínas a través de los NPC.

Metodología:

Clase magistral + gamificación

- **Parte 1: teoría**

En la última de las sesiones de la fase 1, y tras haber asentado todas las bases teóricas necesarias a lo largo de las sesiones anteriores, se profundizó en el tema objetivo del proyecto: el transporte de proteínas entre núcleo y citoplasma a través de los NPC. De nuevo, el planteamiento de la clase fue idéntico al de las dos anteriores.

El primer paso para comprender el transporte de proteínas era hablar de las secuencias reconocibles por carioferinas y de los diferentes tipos y subtipos que existen (secuencia de exportación nuclear, secuencia de localización nuclear...). Seguidamente, se pasaron a estudiar en profundidad las diferentes rutas de transporte (exportación e importación): se analizaron las secuencias que deben llevar las proteínas a transportar, así como qué carioferinas están implicadas y cómo funciona el sistema Ran en cada caso.

- **Parte 2: práctica**

Como actividad central y recopilatoria de todo lo aprendido durante las sesiones de la fase 1, el tercer día se cerró con un juego de cartas. Este fue creado expresamente como parte del proyecto, y trata de recoger las bases de las rutas del transporte nucleocitoplasmático de proteínas. El juego inicialmente estaba pensado para un máximo de 6 personas, pero decidimos jugar en parejas (los 5 alumnos y la profesora de secundaria) para que las partidas fueran más largas, y para fomentar también la interacción y la cooperatividad de la actividad.

El juego cuenta con las cartas descritas en el apartado de materiales y metodologías, y el objetivo final es el de transportar tres cartas de "proteína" (cada una de un color) al interior del "núcleo" (por consenso, la parte de la mesa que queda a la derecha de las cartas de "NPC"). Para una mejor comprensión de la función de las cartas y de las normas del juego, se han redactado dos manuales de instrucciones, anexados como 'Documento 1' y 'Documento 2' en el apartado 9.

Brevemente, el juego consiste en lo siguiente:

- Para iniciar la partida, se reparten cuatro cartas a cada participante (en este caso, a cada pareja). Todos deberán mantener siempre ese número de cartas en mano, ya sea jugando o descartando 2 cartas por turno (y luego robándolas para reponerlas).
- Para poder comenzar a construir las rutas de transporte, es obligatorio jugar en primer lugar una carta de NPC. Cada jugador/pareja podrá tener como máximo tres NPC activos en mesa, uno por cada color de proteína.
- Una vez colocado el NPC correspondiente, el jugador/pareja puede empezar a construir la ruta necesaria para transportar una proteína. Para ello, se necesitan las siguientes cartas:
 - Proteínas. Las proteínas están diferenciadas por color, y cada una debe estar asociada a un único NPC. Si ya se ha jugado una proteína de un color específico a una carta de NPC, no se puede colocar otra (del mismo o de diferente color) mientras esa continúe en juego.
 - Carioferinas de importación. Existen 3 cartas de este tipo:
 - Importina A, importina B. Pueden transportar a la proteína de su mismo color al núcleo, siempre y cuando ambas cartas (importina A, B) estén en la mesa.
 - Transportina. Puede transportar a la proteína de su mismo color al núcleo de forma directa.
- El orden de tirada de las proteínas e importinas es indiferente; sin embargo, una vez se ha utilizado una importina de una ruta, no se puede sustituir por otra hasta que se complete o descarte la ruta actual.
- Una vez la proteína consigue entrar al núcleo, las importinas se descartan.

Esta sería la base del juego. No obstante, para dinamizar las partidas, se han creado cartas con funciones especiales, que permiten a los jugadores dificultar el progreso de sus rivales. Estas cartas son:

- Exportinas: retiran proteínas ya transportadas al núcleo de un rival, devolviéndolas al citoplasma.
- Virus: eliminan todas las cartas asociadas a un color específico (incluido el NPC), obligando al jugador afectado a reiniciar completamente la ruta correspondiente.
- Tratamiento antiviral: anula el efecto de un virus si se juega en el mismo turno del ataque.
- Intercambio: permite intercambiar todas las cartas de un color determinado entre dos jugadores.
- Robo: otorga al jugador que la utiliza todas las cartas de un color concreto pertenecientes a otro jugador.

De esta manera, tras jugar varias partidas, los alumnos pudieron repasar y asentar múltiples conocimientos relacionados con las diferentes rutas de transporte de proteínas, que era el objetivo final de toda la fase 1.

4.2. FASE 2

La fase 2 consta de dos sesiones, aunque no se van a tratar por separado ya que la dinámica y metodología empleadas son las mismas. Básicamente, una sesión es continuación directa de la otra.

El objetivo de esta fase es la creación del proyecto final, que será trasladado posteriormente a los alumnos de primaria. Así pues, durante estas dos sesiones se empleó la metodología de aprendizaje basado en proyectos. Partiendo de la sólida base teórica adquirida en la fase previa, los alumnos de secundaria propusieron ideas y trabajaron de forma cooperativa para adaptar dichos conocimientos al nivel de los alumnos de colegio.

4.2.1. SESIONES 1 Y 2

Objetivo principal:

- Crear y preparar el proyecto final en secundaria.

Objetivo didáctico:

4. Proponer ideas y diseñar estrategias didácticas en grupo.

Objetivo científico:

6. Identificar y distinguir los componentes de las dos rutas principales de transporte activo de proteínas a través de los NPC.

Metodología:

Aprendizaje basado en proyectos.

El mayor reto del proyecto lo encontramos en estas dos sesiones, ya que adaptar un tema tan molecular y complejo para que fuera entendido por alumnos de sexto de primaria no fue sencillo. De entrada, teníamos claro que debíamos llevar alguna propuesta práctica, en la que se desarrollara alguna actividad que implicara juego, movimiento y la máxima interacción posible por parte de los alumnos. Así pues, descartando cualquier tipo de sesión final completamente teórica, empezamos una lluvia de ideas. Tras varias propuestas, decidimos que la mejor opción para transmitir conceptos tan novedosos para los niños era relacionarlos con otros elementos de la vida cotidiana que todos pudieran conocer. Es decir, rápidamente nos inclinamos por hacer uso de comparaciones.

Así pues, partiendo de la idea de las comparaciones y de un concepto de sesión interactiva, planteamos la posibilidad de crear un teatro. Llegados a este punto, nos faltaba ver qué personajes y escenarios podíamos emplear para que la propuesta fuera viable. Rápidamente propusimos tomar como base los personajes del juego de cartas, ya que abarcaban todos los posibles escenarios que queríamos representar.

Fueron muchos los escenarios que pensamos como posible símil de las células (estadios de fútbol, centros comerciales y aeropuertos como núcleo, y los alrededores como citoplasma). Sin embargo, ninguna de estas propuestas nos convenció, ya que cabía la posibilidad de que tampoco fueran lugares muy conocidos por algunos de los alumnos, haciendo así que el uso de comparaciones perdiera el sentido. Finalmente, dimos con un espacio con el que sabíamos que todos ellos iban a estar completamente familiarizados: el colegio. De esta manera, conseguimos definir los espacios:

- Espacio 1: la célula.
 - Subespacios:
 - Núcleo
 - Citoplasma
- Espacio 2: la ciudad.
 - Subespacios:
 - Colegio
 - Calle

Teniendo en cuenta que también contábamos ya con los personajes de la célula, solo fue cuestión de encontrar referencias para el escenario de la ciudad. Al igual que antes, pensamos en personajes que fueran fáciles de entender, y que dieran sentido a las comparaciones. Así pues, después de varias ideas y ajustes, llegamos a plantear los personajes que se describen en la tabla 1.

Tabla 1. Listado de los personajes del teatro y sus funciones en cada uno de los dos escenarios. Los escenarios se señalan en blanco en la casilla superior.

CÉLULA		CIUDAD	
PERSONAJE	FUNCIÓN	PERSONAJE	FUNCIÓN
Complejo del poro nuclear	Ser el sitio de paso de las moléculas a través de la envoltura y ejercer un control del transporte	Conserje	Ejercer un control de las personas que acceden al colegio a través de la puerta principal
Proteína 1 (de gran tamaño, con una NLS clásica).	Entrar al núcleo para realizar allí sus funciones	Niño	Entrar al colegio para asistir a las clases
Proteína 2 (de gran tamaño, con una NLS bipartita).	Entrar al núcleo para realizar allí sus funciones	Niña	Entrar al colegio para asistir a las clases
Proteína 3 (de tamaño pequeño)	Entrar al núcleo para realizar allí sus funciones	Director	Entrar al colegio para trabajar.
Proteínas 4 y 5 (de gran tamaño, con una NES)	Salir al citoplasma para realizar allí sus funciones	Niño y niña enfermos	Salir del colegio para ir al médico.
Importina A	Mediar el transporte al núcleo de la proteína 1	Madre	Acompañar al niño al colegio

Importina B	Mediar el transporte al núcleo de la proteína 1	Padre	Acompañar al niño al colegio
Transportina	Mediar el transporte al núcleo de la proteína 2	Abuela	Acompañar a la niña al colegio
Exportina	Mediar el transporte al citoplasma de las proteínas 4 y 5	Profesor y profesora	Acompañar a los niños enfermos a la calle.
Virus	Infectar el núcleo y matar la célula	Ladrones	Entrar al colegio y robar todo.

Con los espacios, los personajes y las funciones de cada uno definidas, solo quedaba escribir las escenas del teatro. Escribimos 5 para cada escenario (10 en total). Cada escena involucraba un grupo de personajes, y pretendía representar una ruta de transporte diferente (4 rutas de transporte más 1 infección por virus).

Los actos se escribieron desde el punto de vista de un narrador externo, para que los alumnos de secundaria los pudieran leer y así ser también partícipes de esta fase del proyecto. Además, en todos ellos se incluían diálogos entre algunos de los personajes, para que los alumnos de primaria, además de representar las acciones narradas, también fueran una parte activa del teatro. Un ejemplo real se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Ejemplo del guion de la escena 1. Se indica que, en primer lugar, se leyó el guion del escenario ‘ciudad’, y, en segundo lugar, el del escenario ‘célula’. En cursiva y en azul oscuro se marcan los diálogos en primera persona de los personajes.

ESCENA 1	
1º: CIUDAD	
Personajes	Niño, madre, padre, conserje.
Guion	<ul style="list-style-type: none"> - Son las ocho de la mañana, y por la calle va un niño, de camino al colegio. Sus padres están detrás, bastante lejos. - El niño (solo) intenta entrar al colegio, pero uno de los conserjes le pregunta: <i>¿dónde están tus padres? Sin ellos no puedes entrar.</i> - En seguida, llegan los padres. - La madre habla con el conserje: <i>Hola, somos los padres del niño, estábamos aparcando el coche.</i> - Ahora, los conserjes sonríen y dejan pasar al niño al colegio.
2º: CÉLULA	
Personajes	Proteína 1, importina A, importina B, NPC.

Guión

- La célula está creciendo, y necesita proteínas que vayan al núcleo para ayudarla. En el citoplasma, tenemos a la proteína 1, acercándose al núcleo.
- La proteína 1 intenta entrar al núcleo a través del complejo del poro. Como va sola, el poro le dice: *la célula me ha dicho que si vienes sola no te puedo dejar entrar.*
- Rápidamente, acuden allí las proteínas importina A e importina B.
- Las proteínas hablan con el complejo del poro: *Hola, somos las acompañantes de la proteína 1. Ya estamos aquí, deja entrar a nuestra amiga.*
- Ahora, el complejo del poro deja entrar a la proteína 1.

Una vez redactadas todas las escenas del teatro, cada alumno de secundaria eligió una, para leerla el día del proyecto final.

Por último, quedaba preparar una pequeña introducción teórica al tema, para que los alumnos de primaria pudieran entender qué iban a representar en el teatro. Siempre con la intención de adaptar al máximo los contenidos a su nivel de entendimiento, propusimos varias opciones. Finalmente, decidimos optar por una explicación visual, en la que ya empleáramos la comparación célula-ciudad, como forma de introducir el proyecto. Para ello, diseñamos dos carteles (anexados como 'Documento 3' en el apartado 9). En uno de ellos, se representaba una célula con su núcleo y citoplasma, y varias proteínas. En el otro, sobre la misma forma de la célula, se añadieron imágenes que representaban un colegio (dentro de lo que sería el núcleo de la célula), y otros elementos de una ciudad, como casas, un parque y un hospital (dentro de lo que sería el citoplasma de la célula).

4.3. FASE 3

La fase 3 consta de una única sesión, de aproximadamente una hora. El objetivo de esta es trasladar el proyecto final, creado poco a poco en cada una de las sesiones anteriores, a los alumnos de primaria. En este caso, los encargados de dirigir e impartir la clase son los alumnos de secundaria.

En esta sesión se hace aún más patente la finalidad de los Proyecto Natura, ya que se fomenta la interacción entre personas de diferentes edades y pertenecientes a distintos niveles educativos, buscando así despertar un interés vocacional en los más pequeños.

4.3.1. SESIÓN 1

Objetivo principal:

- Desarrollar el proyecto final en primaria.

Objetivos didácticos:

- **Secundaria:**
 5. Transmitir conocimientos de forma clara y directa a otras personas.
- **Primaria:**
 1. Recordar fundamentos complejos mediante el uso de comparaciones.
 2. Aprender mediante juegos, representaciones y enseñanzas prácticas.
 3. Debatir y contrastar ideas y resultados del aprendizaje, para llegar a conclusiones conjuntas.

Objetivos científicos:

- **Secundaria:**
 6. Identificar y distinguir los componentes de las dos rutas principales de transporte activo de proteínas a través de los NPC.
- **Primaria:**
 1. Enumerar las partes básicas de una célula eucariota.
 2. Identificar la estructura y citar la principal función de un NPC.
 3. Reconocer los principales elementos del sistema de transporte nuclear y asociarlos a las diferentes tutas de transporte nucleocitoplasmático.
 4. Deducir y asimilar la naturaleza dinámica de las células y de las moléculas que las forman.

Metodología:

Teatro pedagógico

En esta única sesión de la fase 3, se llevó a cabo el teatro como producto final del proyecto. Para ello, se hizo uso del patio del colegio. Los alumnos de primaria ocuparon mesas y sillas colocadas en filas, y los alumnos de secundaria, impartieron la sesión desde la parte delantera.

Al inicio de la sesión, el tema fue presentado por los estudiantes de secundaria, tal y como se había acordado en la fase 2. Se introdujo el concepto de célula eucariota, que la mayoría de alumnos ya conocía.

Además, se emplearon de los carteles comparativos y de las maquetas que se habían diseñado en fases previas, para que la explicación fuera lo más visual y clara posible.

Una vez los alumnos de primaria hubieron comprendido qué veníamos a contarles, les explicamos la dinámica del teatro. Los dividimos en dos grupos (al azar), y repartimos las cartas con los personajes del teatro (un ejemplo se anexa como 'Documento 4' en el apartado 9). Seguidamente, preparamos los espacios en el patio: usamos una cuerda para dividir los dos escenarios (célula y ciudad), y aprovechamos un bordillo para diferenciar los espacios dentro de estos (núcleo/citoplasma, y colegio/calle). Para que todo el mundo se ubicara correctamente en todo momento, colocamos carteles en el suelo con los nombres de los espacios.

Cuando todos los alumnos tuvieron claro en qué momento del teatro aparecían, qué tenían que hacer y hacia dónde debían dirigirse, comenzó la representación.

En primer lugar, salieron los niños cuyos personajes aparecían en el acto 1 de ambos escenarios. Mientras tanto, el resto de alumnos atendían cuidadosamente. Escena a escena, se representó todo el teatro.

Al terminar, todos los alumnos se sentaron de nuevo en las sillas y mesas, e iniciamos un pequeño foro de discusión. Preguntamos qué era lo que habían entendido de la representación, y muchos de ellos fueron contestando. Gracias a sus intervenciones, y a las de los alumnos de secundaria y los profesores de los dos cursos, fuimos sacando las conclusiones que nos habíamos planteado transmitir desde el primer momento.

De esta manera, pudimos comprobar que los alumnos más pequeños habían entendido las bases del transporte de proteínas dentro de las células, el papel que juegan los NPC dentro de este proceso, y que las células eucariotas son entidades dinámicas y finamente reguladas.

5. CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones del equipo en el proceso de elaboración del proyecto

Durante las diferentes sesiones del proyecto se han ido alcanzando, de forma muy satisfactoria, todos los objetivos propuestos al inicio de este.

El excelente cumplimiento de los objetivos didácticos se ha visto reflejado durante el desarrollo de las propias sesiones, en las que los alumnos han demostrado la adquisición total de todas las competencias previstas al inicio del proyecto. Además, la actitud y voluntad han sido impecables en todo momento.

Por otra parte, la valoración del grado de cumplimiento de los objetivos científicos se ha realizado mediante una encuesta dirigida al alumnado (cabe destacar que solamente 4 de los 5 alumnos respondieron dicha encuesta). A través de sus respuestas – que se muestran a continuación – ha sido posible evaluar su nivel de comprensión de los temas tratados. Así pues, se ha podido saber que:

- El 100% de los alumnos supo identificar en una imagen la envoltura nuclear, los poros y los complejos del poro nuclear.
- El 100% de los alumnos marcó correctamente varias afirmaciones ciertas respecto a la estructura y composición de los NPC, entre un listado con opciones correctas e incorrectas. No obstante, 3 de los 4 alumnos marcaron una respuesta incorrecta como correcta.
- 3 de los 4 alumnos relacionaron de manera correcta los procesos de replicación, transcripción y traducción con el compartimento celular en el que ocurren. 1 de los alumnos solamente erró una de las tres relaciones.
- El 100% de los alumnos contestó correctamente varias preguntas acerca del transporte activo de proteínas, en las que se preguntaba por las secuencias NLS y NES, por las carioferinas y por las diferentes rutas de transporte.

- 3 de los 4 alumnos supieron identificar una ruta de transporte de proteínas (exportación) a partir de los elementos presentes en un esquema.
- 3 de los 4 alumnos listaron correctamente alguna enfermedad relacionada con fallos en el funcionamiento de los NPC.

Por los datos obtenidos, se puede concluir que los objetivos científicos planteados para el proyecto se han superado exitosamente.

5.2. Conclusiones de los alumnos

• Alumnos de secundaria

Con el objetivo de conocer las opiniones del alumnado sobre su participación en el proyecto, se incluyeron diversas preguntas al respecto en la encuesta de la que se ha hablado anteriormente. Las respuestas obtenidas son estas:

- El 100% de los alumnos de secundaria eligieron las sesiones basadas en la gamificación como sus favoritas (sesiones 2 y 3).
- En una escala del 1 al 10, 3 de los alumnos valoraron con un 10 el planteamiento de las sesiones y el impacto de estas sobre el proceso de aprendizaje. El cuarto alumno lo calificó con un 9.
- A la pregunta “¿Recomendarías este tipo de sesiones a otros alumnos?”, 3 de los alumnos respondieron con un 10/10, mientras que 1 respondió con un 8/10.

Además, en esa misma encuesta se habilitó un espacio de respuestas libres para que los alumnos que quisieran dejar sus opiniones pudieran hacerlo. Estos son fragmentos de las respuestas de cada uno de los alumnos:

- Alumno/a 1: *“Incluso las clases teóricas sobre el complejo del poro nuclear me parecieron muy interesantes. Las explicaste de una forma tan clara que aún las recuerdo y creo que no se me olvidarán fácilmente. Además, hacer la maqueta, jugar al juego de cartas y preparar la exposición para los alumnos de primaria nos ayudó mucho a fijar los conceptos. Gracias a eso, el tema se me quedó grabado y fue más fácil de entender.”*
- Alumno/a 2: *“Aprecio el esfuerzo que pusiste en que aprendiéramos de forma dinámica y divertida. No siempre es fácil hacer que algo tan complejo se vuelva accesible y entretenido, y tú lo conseguiste.”*
- Alumno/a 3: *“Nos has guiado súper bien, explicando cada detalle con paciencia y haciendo que un tema tan complejo se sintiera mucho más claro y fascinante.”*
- Alumno/a 4: *“Has hecho que un contenido tan difícil de entender se entienda de una manera muy sencilla, lo has explicado muy bien y todas las ideas de juegos y el teatro final se nota que te lo has currado mucho.”*

Por todo esto, se puede concluir que los alumnos de secundaria disfrutaron, aprendieron y se sintieron muy satisfechos con el desarrollo del proyecto.

- **Alumnos de primaria**

Para saber las opiniones de los alumnos de primaria no se realizó ninguna encuesta, sino que se hizo uso del pequeño foro de debate al final de la fase 3. Por las preguntas que se hicieron a los alumnos, se puede concluir que todos, o la gran mayoría, cumplieron con los objetivos científicos y didácticos. Es decir, comprendieron de forma clara cómo se estructuran las células eucariotas, cómo las proteínas se transportan a través de diferentes rutas (sin entrar en mucho detalle acerca de los nombres técnicos de dichas rutas) y qué son los complejos del poro nuclear. Además, las propuestas metodológicas se siguieron a la perfección, haciendo así que se trabajaran todas las competencias planteadas.

Por lo general, los alumnos estaban contentos tanto con los conocimientos adquiridos como con el desarrollo general del proyecto.

6. VALORACIÓN DEL PROYECTO

En general, considero que el proyecto ha superado todas las expectativas. Como ya se ha mencionado, todos los objetivos se han cumplido con creces, tanto en primaria como en secundaria. El planteamiento de las sesiones desde una perspectiva más práctica, cooperativa e innovadora ha sido, sin duda, el gran responsable de este éxito. Esta forma de ejercer la docencia no solamente ha mejorado la adquisición de conocimientos, sino también el grado de implicación y motivación de todos los alumnos en las sesiones, dos hechos que están indudablemente relacionados.

En cuanto a las debilidades del proyecto, se podría destacar la relativa poca profundidad bioquímica con la que se han abordado los temas. Es decir, se han obviado detalles como la composición aminoacídica concreta de las señales de localización nuclear y de algunas nucleoporinas relevantes, así como los mecanismos subyacentes al funcionamiento del sistema Ran; tampoco se han mencionado ejemplos reales de proteínas cargo al explicar las rutas de transporte, entre muchas otras cosas. Sin embargo, creo que simplificar un poco el planteamiento teórico ha sido correcto, ya que el nivel académico de los alumnos del proyecto así lo requería.

Echando la vista atrás, también se podría plantear alguna mejora a la propuesta. A mi parecer, una de las más relevantes sería el dar más libertad y herramientas a los alumnos de secundaria en la preparación de la actividad final. Si durante este proyecto no se ha hecho, ha sido por la escasez de horas disponibles, a la vez que por la dificultad de la propia actividad.

Para acabar, como ya se ha dicho, creo que el resultado global del proyecto ha sido un éxito rotundo. Ha tenido un impacto muy positivo tanto en todos los alumnos participantes, como en mi propia persona, como organizadora de gran parte de la actividad.

7. IMÁGENES DEL DESARROLLO DEL PROYECTO

IMÁGENES DE LA FASE 1:



IMÁGENES DE LA FASE 3:



IMÁGENES DE EXPOCIENCIA



8. EXPOSICIÓN DE LAS DIFICULTADES PARA DESARROLLAR EL PROYECTO

La principal dificultad a la hora de desarrollar el proyecto ha sido conseguir transmitir de forma clara todos los conceptos relacionados con el tema elegido. A pesar de la incuestionable importancia que el NPC y el transporte nucleocitoplasmático tienen en el campo de la bioquímica y en el contexto de la investigación actual en este área, resultan conceptos muy lejanos al entendimiento de alumnos de secundaria, y, sobre todo, de alumnos de primaria. Así pues, el hecho de hablar sobre estructuras microscópicas difíciles de visualizar ha sido el principal reto a la hora de plantear el proyecto.

9. ANEXOS

Documento 1: Normas del juego de cartas.

¿CÓMO SE JUEGA?

El objetivo es llevar tres proteínas (una de cada color) al núcleo, antes de que lo hagan los demás jugadores.

- Se reparten 4 cartas por jugador.
- En cada turno, se pueden jugar dos cartas. Hay tres opciones: se juegan dos y se roban dos; se descartan dos y se roban dos, sin jugar; o se juega una y se descarta otra, robando dos. Siempre hay que tener cuatro cartas en la mano, de la forma que sea.
- Para empezar a jugar, es necesario tirar una carta de NPC. Como máximo, se podrán tener en la mesa tres cartas de este tipo, una por cada color de proteína.
- Los siguientes movimientos van a consistir en ir lanzando todos los elementos necesarios para que las proteínas sean transportadas:
 - Proteínas. Hay de tres colores. Cada color irá asociado a un poro. Si ya se ha jugado y sigue en la mesa una proteína del color X, no se puede jugar otra del mismo color X.
 - Importinas. Hay de dos tipos, las clásicas y las no clásicas. Si se juega una importina clásica (importina B1), es necesario jugar la adaptadora (importina a) para que la proteína pueda pasar a través del poro. Si se juega una importina (transportina) no clásica, la proteína se transporta directamente al núcleo.
 - El orden de tirada entre proteínas e importinas no es relevante. Se puede tirar primero la proteína, o primero la importina.
 - Si a una determinada proteína se le ha lanzado una importina de la ruta clásica (b1 o a), no se podrá jugar con ella una importina no clásica, mientras la primera siga en la mesa.
 - Una vez la proteína se ha transportado, las importinas se pierden (se descartan).
 - La carta del NPC lleva consigo el sistema Ran-GTP.
- Los jugadores van a tratar de impedir que nadie consiga entrar sus tres proteínas al núcleo. Para ello, existen varias opciones:
 - Exportinas. Actúan en el núcleo, sacando la proteína que tanto le había costado transportar a tu rival. Llevan consigo su sistema Ran, porque el que había asociado al poro se ha "gastado" en la importación.

- Virus. No tienen piedad. Destruyen todos los componentes del sistema de un solo color. La persona que haya sido infectada debe volver a empezar a construir la ruta del color afectado, empezando por jugar un NPC.
- Para dinamizar aún más el juego, existen cartas con diferentes funciones:
 - Tratamiento antiviral: se puede jugar a modo de defensa en caso de ser atacado con un virus, en la misma tirada (en caso de querer defender los elementos atacados; si te da igual perderlos, no tires nada, pero tu pobre célula morirá).
 - Intercambio: permite intercambiar todas las cartas asociadas a un color (NPCs, proteínas, importinas...) entre dos jugadores.
 - Robo: permite al jugador robar todas las cartas asociadas a un color de cualquier otro jugador.

Documento 2: manual de instrucciones de las cartas

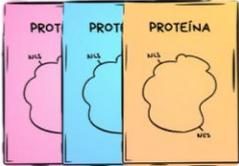
MANUAL DE INSTRUCCIONES

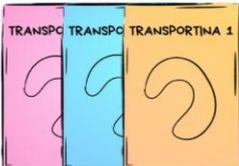
ESTE JUEGO CONTIENE LAS SIGUIENTES CARTAS:

ESENCIALES PARA EMPEZAR A JUGAR. SIN ELLOS, NO HAY TRANSPORTE



SON PROTEÍNAS CON FUNCIONES NUCLEARES, POR LO QUE EN EL CITOPLASMA NO HACEN NADA. HAY QUE CONSEGUIR METERLAS EN EL NÚCLEO.

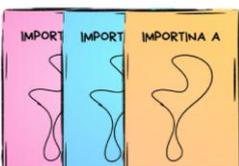




SON CARIOFERINAS MUY INDEPENDIENTES Y RESOLUTIVAS: RECONOCEN Y TRANSPORTAN LAS PROTEÍNAS ELLAS SOLAS

SON OTRAS CARIOFERINAS, NO TAN APAÑADAS COMO LAS TRANSPORTINAS. NECESITAN UNA AYUDA EXTRA PARA RECONOCER A SUS PROTEÍNAS Y PODER TRANSPORTARLAS.



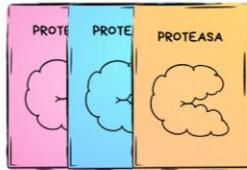
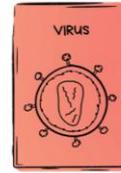


SON LA AYUDA EXTRA DE LAS IMPORTINAS B.



REVIERTEN LA FUNCIÓN DE LAS IMPORTINAS. TODO LO QUE HABÍAN CONSEGUIDO, NO HA SERVIDO PARA NADA.

LOS VIRUS NO TE DEJAN SIN LA PROTAGONISTA DE LA HISTORIA; DIRECTAMENTE TE DEJAN SIN HISTORIA. ADIÓS CÉLULA.

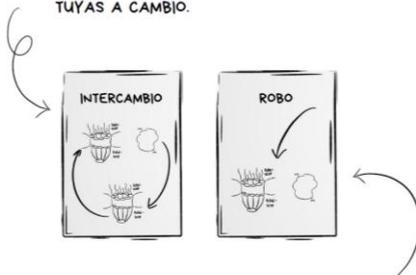


SON DESTRUCTORAS DE PROTEÍNAS. EN UN ABRIR Y CERRAR DE OJOS, TE DEJAN SIN LA PROTAGONISTA DE LA HISTORIA (Y SIN SUS TRANSPORTADORAS).



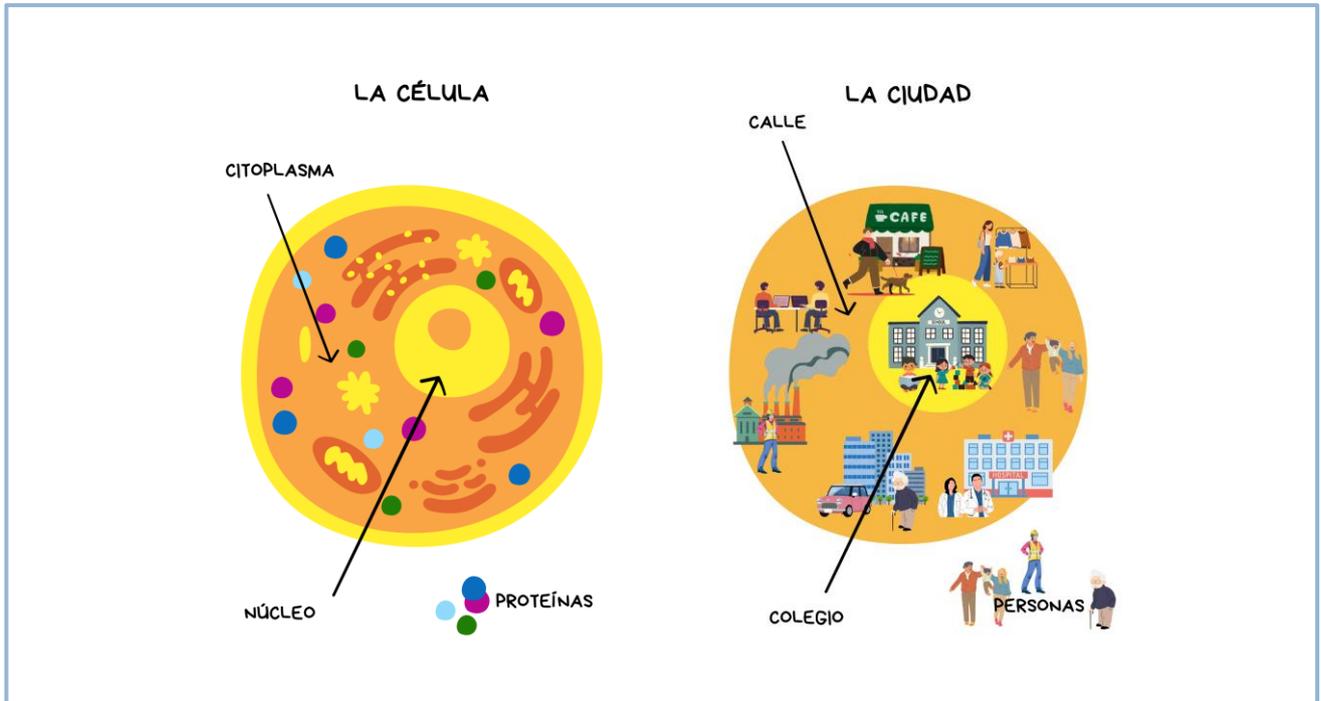
AUNQUE... SI UN VIRUS TE INFECTA, NO ESTÁ TODO PERDIDO... SI ACTÚAS RÁPIDO, TE PUEDES SALVAR.

SI TE GUSTAN MUCHO LAS CARTAS DE OTRO JUGADOR, SE LAS PUEDES QUITAR. ESO SÍ... LE DARÁS LAS TUYAS A CAMBIO.



SI TE GUSTAN MUCHO LAS CARTAS DE OTRO JUGADOR, SE LAS PUEDES QUITAR. SÍ, SÍ, QUITAR; NO LE VAS A DEVOLVER NADA.

Documento 3: posters comparativos de célula y ciudad



Documento 4: ejemplo de cartas de los personajes del teatro



10. BIBLIOGRAFIA

1. Beck, M. & Hurt, E. The nuclear pore complex: understanding its function through structural insight. *Nat Rev Mol Cell Biol* **18**, 73–89 (2017).
2. Ministerio de Educación y Formación Profesional, Gobierno de España. *Real Decreto 157/2022, de 1 de Marzo, Por El Que Se Establecen La Ordenación y Las Enseñanzas Mínimas de La Educación Primaria. 157/2022* (2022).
3. Ministerio de Educación y Formación Profesional, Gobierno de España. *Real Decreto 243/2022, de 5 de Abril, Por El Que Se Establecen La Ordenación y Las Enseñanzas Mínimas Del Bachillerato. 234/2022* (2022).
4. Batlle, R. et al. *100 Buenas Prácticas de Aprendizaje-Servicio. Inventario de Experiencias Educativas Con Finalidad Social*. (Santillana, 2019).
5. Sánchez, M. R. *Metodologías docentes en el EEES: de la clase magistral al portafolio*. (2011).
6. Kolb, D. A. *Experiential learning: experience as the source of learning and development*. (Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1984).
7. Meneses, N. Así es la gamificación, la estrategia que revoluciona el aprendizaje y el desarrollo profesional. *El País* (2024).
8. Carreño, B. C. D. & Espinoza, M. D. Aprendizaje basado en proyectos y su influencia en el pensamiento crítico en estudiantes de educación básica. **5**,
9. Ortega, J. A. H. & García, M. A. M. El teatro como herramienta pedagógica para el fortalecimiento de habilidades comunicativas, cognitivas y socioemocionales en el grado 3° de la institución Santa María Goretti.