



Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias  
ISSN: 1697-011X  
revista.eureka@uca.es  
Universidad de Cádiz  
España

## Gamificar la evolución: el ecosistema como contexto para la aplicación del pensamiento evolutivo

**Doménech Girbau, Mariona; Marbà Tallada, Anna**

Gamificar la evolución: el ecosistema como contexto para la aplicación del pensamiento evolutivo

Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, vol. 20, núm. 1, 2023

Universidad de Cádiz, España

**Disponible en:** <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92072334016>

**DOI:** [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2023.v20.i1.1304](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i1.1304)

## Gamificar la evolución: el ecosistema como contexto para la aplicación del pensamiento evolutivo

Gamifying evolution: using the ecosystem as a context for the application of evolutionary thinking

Mariona Doménech Girbau

Grup LIEC. Universitat Autònoma de Barcelona, España

Mdomen11@gmail.com

DOI: [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2023.v20.i1.1304](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i1.1304)

Rev\_Eureka\_ensen\_divulg\_cienc.2023.v20.i1.1304  
Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92072334016>

Anna Marbà Tallada

Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències

Experimentals. Grup LIEC. Universitat Autònoma de

Barcelona, España

Anna.marba@uab.cat

 <https://orcid.org/0000-0002-8780-2422>

Recepción: 21 Marzo 2022

Revisado: 26 Agosto 2022

Aprobación: 22 Noviembre 2022

### RESUMEN:

En este artículo se presentan y fundamentan los resultados de una investigación que pretende ayudar al alumnado a pensar y argumentar en relación con el modelo evolutivo basado en la Selección Natural. En ella, se analiza la progresión de las producciones de los participantes antes y después de realizar una actividad de aula basada en la gamificación, con el objetivo de explorar en qué medida el contexto creado al usar un *serious game* diseñado específicamente para la enseñanza de la evolución, promueve la activación de conceptos ya construidos previamente y posiciona a los estudiantes para comprender mejor los hechos reales que se les propone más tarde. El marco desde el que se plantean las tareas a los estudiantes es el del ecosistema y no el de la propia evolución, con el objetivo de ayudarles a construir la idea de que la evolución es un proceso que sucede en los ecosistemas. Los resultados apoyan que el tratamiento de la evolución desde el ecosistema contribuye a la disminución de concepciones finalistas y adaptacionistas y concede a la población su protagonismo en el proceso evolutivo. Asimismo, se valora positivamente el *serious game* diseñado, como mediador del proceso de autorregulación que realizan los estudiantes, para reconstruir sus propios argumentos.

**PALABRAS CLAVE:** Evolución biológica, ecosistema, gamificación, modelo eco-evo.

### ABSTRACT:

This paper presents the results of a research that aims to help students think and argue in relation to the evolutionary model based on Natural Selection. Such research analyzes the evolution of participant's productions before and after conducting a classroom activity based on gamification. The goal is to explore if the context created with the *serious game* (specially designed to teach the evolution), promotes the activation of previous knowledge and in which way promotes a better understanding of the facts proposed. These facts are presented from the ecosystem perspective instead of the evolution model. Results show that using the ecosystem as the context of evolution contributes to the reduction of finalist and adaptationist conceptions and brings population concept as a crucial concept in students' explanation. Likewise, the *serious game* designed is recognized as a mediator of the self-regulation process that students do to reconstruct their own arguments.

**KEYWORDS:** Biological evolution, ecosystem, gamification, eco-evo model.

### INTRODUCCIÓN

Hay un amplio consenso, en la didáctica de la biología, que la evolución es una de las grandes ideas de ciencia que la educación obligatoria debería promover (Harlen, 2010) y que los principios evolutivos básicos deberían tratarse en los cursos introductorios y no solo en los cursos finales (Abraham *et al.*, 2009).

A pesar de ello, los currículos del Ministerio de Educación y Formación Profesional (2020) no la recogen explícitamente hasta las asignaturas optativas de 4º de la ESO, cosa que implica que sólo aquellos que escojan la asignatura optativa de Biología y Geología, los trabajarán. Hasta 3º de la ESO sí que habrán trabajado conceptos relacionados con la ecología, la zoología o la botánica, todos ellos relacionados también con la evolución. El problema es que suelen ser tratados con una total desconexión del proceso evolutivo, de manera que difícilmente el alumnado podrá construir ideas relacionadas con ella, ya que solo se promueve interpretar el ser vivo y el ecosistema como algo fijo y estático, y no como entidades en cambio constante a lo largo del tiempo (Bermúdez *et al.*, 2012) consideran altamente improbable que puedan comprenderse los procesos evolutivos mientras los contenidos y la enseñanza de la biología sigan siendo una lista de hechos inconexos.

Uno de los contenidos más significativos en la enseñanza-aprendizaje de la evolución es la selección natural, término que describe el proceso gradual de cómo los miembros de una especie desarrollan rasgos especializados, teniendo en cuenta en la población, las interacciones y las variaciones genéticas aleatorias. La selección natural, como todos los procesos evolutivos, son difíciles de comprender porque son en gran medida contrarios a la intuición (Hanisch y Eirdosh, 2021) e implican combinar el concepto de probabilidad, escalas de tiempo y ser capaz de relacionar múltiples niveles organizacionales: desde el nivel molecular para explicar mutaciones hasta el poblacional, para describir las variaciones (Gretsch, 2020).

Son numerosas las investigaciones que muestran las dificultades de la enseñanza-aprendizaje de la evolución y muchas de ellas se centran específicamente en la selección natural (Bishop y Anderson, 1990; Demastes *et al.*, 1995; González-Galli y Meinardi, 2015; González-Galli, *et al.*, 2018; Jiménez- Aleixandre y Fernández, 1989; Nehm y Reilly, 2007). Todos estos estudios remarcan que los estudiantes, al hablar de selección natural, hacen referencia a aspectos relacionados con la necesidad que tiene un individuo para adaptarse (*los cactus se han adaptado a vivir con poca agua*), a que las estructuras (órganos, extremidades, etc.) aparecen/desaparecen en función del uso (*la cola en los homínidos desapareció al empezar a ser bípedos porque ya no les hacía falta*), o con la heredabilidad de los caracteres adquiridos (*si la madre sabe tocar el piano, los hijos también*). En las dificultades descritas en estos estudios se destaca la persistencia de las explicaciones teleológicas, que hacen referencia a que los cambios persiguen un propósito o intención y que están muy presentes en el pensamiento biológico (Kelemen, 1999; Hammann y Nehm, 2020). Así, como también, otro de los obstáculos más recurrentes en las explicaciones biológicas: la falta de coherencia vertical (Verhoeff *et al.*, 2008), es decir, las dificultades para incorporar las diferentes escalas de organización de la materia en las explicaciones.

## EL MODELO Eco-Evo

La propuesta de enseñanza-aprendizaje presentada en este artículo, el modelo Eco-Evo (Doménech Girbau y Marbà Tallada, 2022), entiende la evolución desde la ecología como un proceso modelizador, según el cual el alumnado va construyendo modelos científicos escolares que les sirven para interpretar e intervenir sobre hechos y fenómenos de la realidad, de la manera más cercana a cómo la ciencia los va construyendo. Esta propuesta incorpora además una visión sistémica basada en Bertalanffy (1968), para quien un sistema es un conjunto de elementos relacionados entre sí funcionalmente, de modo que cada elemento del sistema es función de algún otro elemento, no habiendo ningún elemento aislado. Bajo esta perspectiva, los sistemas biológicos, desde la célula, a los ecosistemas, son sistemas con unos límites, que intercambian materia y energía con el medio, captan y responden a estímulos y se autoperpetúan. Desde este marco, podremos explicar, a nivel de ecosistema, el flujo de energía y ciclos de materia, las interacciones de biotopo y biocenosis y la evolución biológica, con sus causas (mutación, selección, deriva) y efectos (adaptación y selección).

El modelo Eco-Evo considera la evolución como un proceso asociado al ecosistema. Por lo tanto, se consideran los procesos que generan biodiversidad desde la perspectiva del tiempo (evolución) y desde el espacio donde se genera y desarrolla (ecosistema). La valoración de la diversidad en la población constituye

un punto clave para entender el dinamismo de las poblaciones, es decir la evolución, y debe utilizarse como eje vertebrador determinando los puntos de anclaje esenciales como son la diversidad actual y pasada de especies interactuando entre sí y con su medio, la diversidad de ecosistemas y la diversidad genética (García Barros, 2018).

Así, en el modelo Eco-Evo, se desarrollan las ideas claves de la evolución a la vez que se trabajan las ideas claves de transferencia de materia y energía en el ecosistema, basándonos en las propuestas del National Research Council (2012) que incorpora la idea original de Margalef (2012) de que las especies evolucionan en un marco que les impone orientaciones y restricciones, y este marco es el del ecosistema.

## LA GAMIFICACIÓN

En los últimos años, la gamificación ha recibido una gran atención en el mundo educativo (Gómez Trigueros, 2018). Así, según González-Robles y Vázquez-Vilchez (2022): “La gamificación es una técnica que propone dinámicas asociadas al diseño de juegos en el entorno educativo, con el fin de estimular y tener una interacción directa con los alumnos, permitiéndoles desarrollar sus competencias curriculares, cognitivas y sociales”

De entre las múltiples tipologías de juegos que se pueden encontrar, los *serious game* son aquellos que tienen un propósito educativo explícito y cuidadosamente pensado y no están destinados sólo para conseguir divertir (Cheng *et al.*, 2015). Varios autores consideran que los *serious games* crean un contexto virtual inmersivo donde los estudiantes pueden experimentar, repetidas veces, prácticas que no pueden vivenciarlas en la vida cotidiana, cosa que hace pensar que su uso en contextos educativos puede promover un aprendizaje auténtico (Cheng y Annetta, 2012; Cheng *et al.*, 2015). Además, como concluyen Shabnam *et al.* (2020), permiten a los estudiantes explorar y descubrir conceptos a través de su experiencia y los posiciona para comprender mejor los hechos reales.

Existen múltiples juegos de evolución que se centran básicamente en el proceso de selección natural, pero que no contemplan el papel del ecosistema y especialmente juegos que plantean simulaciones computacionales (una revisión de los cuáles se puede encontrar en Della Costa y Occelli, 2020). La propuesta que aquí se presenta, un juego de tablero, es novedosa en el sentido de plantear la selección natural en el contexto de la ecología ya que se centra en las interacciones que se dan en los ecosistemas y cómo este va evolucionando. Así es como, por ejemplo, a través de la acción de depredadores sobre presas, los estudiantes van internalizando además de la idea “caza/selección”, sus consecuencias en las generaciones siguientes (evolución/cambio de las frecuencias fenotípicas). Esta propuesta está inspirada en la simulación Natural Selection (PhET), que se ha transformado en un juego de tablero y adaptado para trabajar tanto en Primaria como Secundaria.

Desde esta perspectiva, el objetivo de esta investigación es analizar si el contexto creado al usar un *serious game* diseñado específicamente para la enseñanza de la evolución promueve la activación de conceptos ya construidos previamente.

Así, desde esta perspectiva teórica, nos planteamos las siguientes preguntas de investigación:

- ¿En qué medida el tratamiento de la evolución en el contexto del ecosistema contribuye a generar argumentos más cercanos a la selección natural?
- ¿Es el *serious game* diseñado como mediador del proceso de autorregulación de los estudiantes, un recurso potente para reconstruir sus propios argumentos?

## METODOLOGÍA

### La muestra

Para poder realizar la investigación, se seleccionó un grupo de estudiantes del Máster de Formación del Profesorado (especialidad Biología y Geología) de dos universidades catalanas para observar la evolución de sus producciones discursivas, en contextos ecológicos, antes y después de hacer una partida a un juego depredador/presa, que introduce el modelo integrado Eco-Evo.

El número total de la muestra es de 48 estudiantes.

La muestra, de conveniencia, son personas con estudios superiores en las áreas de Biología y afines y que están recibiendo formación en didáctica, por lo tanto, competentes en hablar y escribir textos argumentativos y en cómo expresar y fundamentar su manera de pensar sobre aspectos básicos de la ciencia. Así, la diversidad en la titulación de origen de los participantes no era un obstáculo para la investigación.

### Instrumento

Los datos se obtienen a partir de los textos elaborados por los participantes en el estudio en dos fases, una previa (actividad prejuego) y otra posterior a la implementación del *serious game* diseñado para la investigación (actividad posjuego).

### Actividad prejuego

La primera actividad se desarrolla durante la sesión en la que se tratan los conceptos clave de ecología. Al empezar la primera sesión, se genera una lluvia de ideas sobre qué recuerdan los alumnos haber estudiado sobre ecosistemas. De forma generalizada recuerdan una definición de ecosistema, citan sus componentes, nombran tipos de ecosistemas y algunas interacciones entre los seres vivos que habitan en ellos. Llegados a este punto se les solicita que respondan a la cuestión *¿Por qué es altamente improbable que conejos blancos como estos vivan en un encinar mediterráneo?*

El objetivo de esta pregunta es que emergan las ideas de los participantes sobre la dinámica del ecosistema y sus argumentos en clave poblacional y evolutiva necesarios para dar una respuesta justificada a la pregunta que se plantea.

A continuación, la sesión se centra en estudiar las relaciones entre los organismos de un ecosistema, concretamente la de depredador-presa. Por ello se propone un juego de simulación sobre este tipo de interacción. Se trata de un juego de mesa que consta de 3 tableros distintos: un campo de trigo, una selva amazónica y un campo de amapolas y fichas. Las fichas, que representan los individuos de diversas poblaciones se hacen a partir de recortar las fotografías que se usan como tableros, es decir, hay fichas que son del campo de trigo, otras del de amapolas y otras de la selva amazónica (ver Figura 1). Cada grupo tiene un tablero distinto y 10 fichas de cada población, es decir, por ejemplo, el grupo 1 tiene el tablero con la fotografía del campo de trigo y 10 fichas de cada población (campo de trigo, amapolas, y selva).



FIGURA 1  
Tableros y fichas del juego

El juego empieza repartiendo el alumnado en distintos grupos. En cada grupo hay un jugador que será el “depredador”, que se les hace salir de la clase mientras se explica la dinámica. Una vez los *depredadores* están fuera, se reparten los tableros y las fichas (un tablero y 10 fichas de cada ecosistema) por grupo. Se les explica que los *depredadores* tendrán un minuto para poder coger todas las fichas que puedan de las 30 que hayan colocado en el tablero. Se colocan las fichas y se hace pasar a los *depredadores* a quienes también se les ha explicado el objetivo del juego y cómo pueden coger las fichas (no pueden mover el tablero, o barrer las fichas, solo cogerlas con las yemas de los dedos). Se les da un minuto para *cazar* y se hace el recuento.

Después de unas cuantas partidas, se fomenta el diálogo, a partir de una secuencia progresiva de preguntas con el objetivo de promover la autorregulación. Ejemplos de las preguntas que proponen como guía son:

- ¿Qué representa cada ficha, y cada grupo de fichas de un color similar?
- ¿Qué significa que las fichas de un mismo color no sean idénticas?
- ¿Qué se observa en la tabla respecto de las frecuencias: cómo han variado para cada uno de los fenotipos?
- ¿Pasa lo mismo en cada ecosistema?

## Actividad posjuego

Al finalizar la sesión los participantes responden, de forma individual, a dos cuestiones abiertas sobre evolución formuladas en contextos ecológicos. Para dar respuesta al problema planteado en la investigación, se analizarán cuáles son las características que emergen de sus producciones, en coherencia con el paradigma evolutivo y cómo han variado respecto a la actividad prejuego.

Las cuestiones abiertas, propuestas en esta actividad (ver figura 2), se han seleccionado a partir del cuestionario CANS (Kalinowski *et al.*, 2016). Este instrumento evalúa cinco conceptos relacionados con la selección natural: variación, selección, herencia, mutación y cómo funcionan estos conceptos juntos para provocar la evolución, inspirándose en Mayr (1982).

<p>Pos 1.- Una científica americana está estudiando una especie de topos excavadores, los tuzas o <i>Gopher</i>, que son endémicos de los EEUU. Algunas de las zonas donde ha localizado estos roedores se caracterizan por ser terrenos duros y compactados. En otras zonas donde también viven, los terrenos son más blandos y poco compactados y aún en otras zonas donde viven el suelo es mixto, con ambos tipos de suelo. La científica ha observado que los individuos que viven en la zona con suelo duro y compactado tienen unas garras gruesas y cortas. Quienes hay en las zonas con suelo más blando tienen unas garras largas y delgadas. Hay una gran variación en la forma de las garras entre los animales que viven en las zonas donde existen los dos tipos de suelo.</p> <p>• ¿Cómo explicarías esta distribución de los diferentes tipos de <i>Gopher</i>?</p>	<p>Pos 2.- La ballena de Groenlandia (<i>Balaena mysticetus</i>) es la única especie de grandes ballenas que vive toda su vida en el agua helada del océano Ártico y algunas de sus características las diferencian de otros tipos de ballenas. En primer lugar, tienen una capa muy gruesa de grasa bajo la piel (<i>blubber</i>) que puede llegar a tener 70 cm, mucho más que cualquier otra ballena. En segundo lugar, tienen una cabeza que ocupa un tercio de la longitud total del cuerpo con un cráneo muy grueso y puntiagudo, con el que rompen el hielo del mar y salen a respirar aire a la superficie. Ninguna otra ballena tiene un cráneo tan grueso. Las pruebas de que disponen los equipos científicos muestran que las ballenas de Groenlandia evolucionaron a partir de antepasados que vivían en las aguas calidas del océano Pacífico y que no tenían ni <i>blubber</i> ni cráneo grueso.</p> <p>• ¿Cómo explicarías el papel que tuvo el agua fría del mar en la evolución del espesor de la capa de grasa de estas ballenas?</p>
---	--

FIGURA 2  
Cuestiones Posjuego 1 y 2

El objetivo de estas cuestiones es que el alumnado pueda interpretar los hechos que se presentan y hacer las inferencias oportunas acerca de la Selección Natural, tal y como proponía Mayr (1982) (ver figura 3).

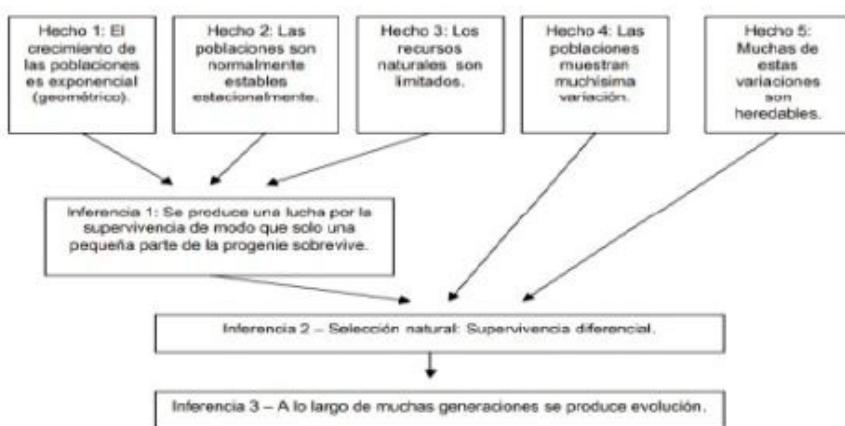


FIGURA 3  
Propuesta de Mayr (1982) sobre cómo se relacionan los hechos y las inferencias acerca de la selección natural

## ANÁLISIS DE DATOS: CLASIFICACIÓN, CODIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS

El conjunto de materiales textuales completos (Pre + Pos1 + Pos2) forman el corpus que generará la información que luego se procesa para responder las preguntas de la investigación. Una vez transcritos los textos completos producidos se seleccionan las unidades de análisis, aquellas oraciones que hacen referencia a los hechos descritos y/o a los procesos de la selección natural. En la Tabla 1 se muestra, como ejemplo, el proceso que se ha seguido con cada uno de los textos completos de un participante, desde la fragmentación, a la identificación de ideas clave que subyacen en los respectivos fragmentos.

Para poder analizar los textos, se ha creado un sistema de códigos y categorías a partir de las distintas ideas que iban apareciendo. Es decir, el sistema de códigos se ha construido bottom-up, de los datos a los códigos, empezando primero con 10 textos hasta que se ha considerado que la lista estabasaturada y ya no se necesitaban más categorías ni códigos).

TABLA 1

Ejemplo del proceso de fragmentación y primera codificación de las producciones de un estudiante

ID	Act	Texto completo	Fragmentos significativos	Ideas clave
E s t u d i a n t e  Nº3	Pre	No es un lugar óptimo para la alimentación, falta de escondite, presa fácil,	No lugar óptimo alimentación	Recursos alimentación
			falta de escondite, presa fácil,	Tipo Interacciones biocenosis
	Pos 1	El <u>fenotipo</u> de garras gruesas y cortas <u>es más frecuente</u> en terrenos duros ya que este tipo de garras es más útil y <u>está mejor adaptado</u> a este medio por lo que aumenta la probabilidad de <u>supervivencia</u> de individuos con este fenotipo. Por otro lado, el fenotipo de garras finas y largas es más frecuente en terrenos blandos ya que este tipo de garras puede facilitar la supervivencia del animal en este tipo de terreno al poder usar sus garras para excavar y esconderse de manera más eficiente.	Este fenotipo está mejor adaptado a este medio por lo que...	Fenotipos diferentes
			Aumenta la probabilidad de supervivencia estos individuos	Ventaja competitiva, > probabilidad reproducción
			En terrenos blandos, otro fenotipo	Adaptación por el medio
	Pos 2	Las ballenas que tuvieran más cantidad de grasa y el cráneo un poco más grueso y puntiagudo podrían <u>sobrevivir</u> en zonas frías durante más tiempo. El hecho de que este tipo de ballenas fueran las únicas que sobrevivían hizo que fueran las únicas capaces de <u>reproducirse</u> entre ellas. Las generaciones <u>descendientes</u> de estas ballenas que tenían más grasa y un cráneo más grande tendrían quizás aún más acumulación de grasa y el cráneo cada vez más grande y puntiagudo debido a la acumulación de las <u>mutaciones</u> que presentaban las generaciones anteriores, creando así, con el paso de miles de años, una <u>nueva especie</u> dónde la acumulación de grasa y la forma del cráneo es diferente y más <u>adaptada</u> al medio en Groenlandia	Las ballenas que tuvieran más cantidad de grasa y el cráneo un poco más grueso y puntiagudo podrían sobrevivir	Carácter + ventajoso + supervivencia
			Únicas capaces de reproducirse entre ellas. Las generaciones descendientes de estas ballenas que tenían más grasa ... cada vez...	> tasa reproducción + descendientes carácter ventajoso
			debido a la acumulación de las mutaciones que presentaban las generaciones anteriores	Mutaciones antecesores
			creando así, con el paso de miles de años, una <u>nueva especie</u> ... diferente y más adaptada al medio en Groenlandia	Con el tiempo, una nueva especie

Las categorías e ítems que configuran la lista de códigos finalmente construida se detallan en la Tabla 2.

TABLA 2

Lista y definición de códigos y categorías usados para codificar las producciones de los alumnos

Categoría	Código	Definición
Variación individual	Variación individual (1)	Referencias a que existe la variación individual dentro de una misma especie sin hacer énfasis en el origen de la variabilidad
	Origen mutacional de la variación (2)	Referencias a que existe la variación individual dentro de una misma especie haciendo énfasis en la mutación como origen de la variabilidad
	Supervivencia diferencial (3)	Referencias a que diferencias individuales por mutación pueden producir supervivencia diferencial a lo largo de las generaciones
Variación poblacional	Cambio en frecuencia de genes de las poblaciones (4)	Referencia explícita a que el número (la frecuencia) de unos tipos genéticos respecto de otros en la población irá variando.
	Especiación (5)	Referencias que explicitan el origen de una nueva especie (sólo aplicable en el post 2)
Supervivencia limitada por interacciones ecosistema (6)		Referencias a que la supervivencia depende de unos recursos naturales del ecosistema, como agua, nutrientes, oxígeno, que pueden ser limitados para algunos o para todos.
Adaptación de las poblaciones	Poblaciones adaptadas (7)	Referencias sobre el concepto adaptación poblacional sin concretar la causa
	Adaptación por selección natural (8)	Referencias que concretan la causa de la adaptación población como consecuencia de la selección natural.
	Finalismos (9)	Referencias explícitas a los cambios de los individuos para poder ser más eficaces en aquel medio
	Adaptacionismos (10)	Referencias explícitas a la "lucha por sobrevivir" adaptándose al medio en el que están
	Cambio/éxito en la distribución geográfica de una población (11)	Referencias a que individuos de una población se desplaza hacia otros lugares donde el éxito reproductivo puede ser diferente
Tautologías (12)		Incluye construcciones que repiten los enunciados sin avanzar en el argumento.

## RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis de los textos del alumnado, así como la comparativa entre los resultados obtenidos en la actividad prejuego y en las posjuego (Tabla 3).

### Resultados actividad prejuego

La actividad prejuego es una pregunta abierta y amplia, para dar oportunidad a un máximo de explicaciones. Dado que los estudiantes ya han trabajado el ecosistema en etapas anteriores de su escolarización, se espera que hagan referencia a la interacción entre los conejos y su medio, lo que determina una actuación continua

de la selección natural, es decir, que enlacen los caracteres del medio (temperatura, luz etc.) con los diferentes fenotipos citados y su variación en la población a lo largo de las generaciones.

En general, se observa una redacción corta dado que en la mayoría de los casos no hacen frases explicativas. Ejemplos de respuesta son por los depredadores, presa fácil, no tienen su alimento, no son de aquí. La mayoría de ellos, casi un 50%, hacen referencia a que la supervivencia depende de unos recursos naturales del ecosistema, como agua, nutrientes, oxígeno, que pueden ser limitados para algunos o para todos (código 6, ver tabla 3). Se pone en evidencia que el alumnado tiene la idea de que los seres vivos obtendrían aquello que "necesitan" razonando en términos de ecosistema, pero no en términos de evolución.

Entre los que sí desarrollan explicaciones algo más extensas, sólo un 9,80% explica la inexistencia de conejos blancos como consecuencia de su poco éxito reproductivo en aquel ecosistema (código 3), y un 9,8% describe que puede ocasionar cambios de frecuencias de las poblaciones en las siguientes generaciones (código 4), como por ejemplo tienen pocas probabilidades de sobrevivir, por ser detectables y buena presa y por tanto, la herencia de este color no pasará a la descendencia y la población con este fenotipo no aumentará".

Cabe destacar también el 3,9 % de textos usan razonamientos finalistas (código 9), como por ejemplo el ecosistema no les da lo que necesitan, así como el 9,8% de participantes que aportan una razón tautológica (código 12) como respuesta, como no están aquí porque no son de aquí.

En definitiva, pocos participantes (3,92%+3,92%) hacen referencia a la población como protagonista de la evolución por selección natural (códigos 7 y 8), que sería lo que se esperaría atendiendo a que los participantes tienen estudios universitarios de biología o afines. En cambio, prevalecen las explicaciones más descriptivas (relacionadas con las interacciones del ecosistema (código 6) o por la supervivencia diferencial (código 3) o finalistas y tautológicas.

TABLA 3

Porcentaje de cada código obtenido a partir de las producciones de los alumnos, por cada actividad

Categoría	Código	Actividad Pre	Actividad Post 1	Actividad Post 2
Variación individual	Variación individual (1)	5,88%	24,69%	28,17%
	Origen mutacional de la variación (2)	0,00%	1,23%	2,82%
	Supervivencia diferencial (3)	9,80%	14,81%	8,45%
Variación poblacional	Cambio en frecuencia de genes de las poblaciones (4)	9,8%	24,69%	30,99%
	Especiación (5)	0%	0%	4,23%
Supervivencia limitada por interacciones ecosistema (6)		52,94%	4,93 %	1,41%
Adaptación de las poblaciones	Poblaciones adaptadas (7)	3,92%	7,41%	5,63%
	Adaptación por selección natural (8)	3,92%	9,88%	8,45%
	Finalismos (9)	3,92%	2,47%	4,23%
	Adaptacionismos (10)	0%	7,41%	4,23%
	Cambio/exito en la distribución geográfica de una población (11)	0%	2,47%	1,41%
Tautologías (12)		9,80%	0%	0%

## Resultados actividades pos

Al analizar los textos de las dos cuestiones abiertas, realizadas por los participantes después de jugar al juego depredador-presa, se observa que en general las respuestas son más largas y elaboradas, con frases bien construidas y explicaciones fundamentadas, de manera que ha sido posible extraer varios fragmentos de los textos que conducen a categorizar ideas clave sobre el proceso evolutivo.

### Pos 1

El contexto que se plantea es un caso real que se está investigando actualmente sobre la distribución desigual de los topos excavadores en suelos con texturas distintas. Es un ejemplo típico de interacción biotopo/biocenosis en un ecosistema, por lo que sería deseable se generen respuestas en términos de variación genética individual, que produce un éxito reproductivo relativo diferencial y, por lo tanto, un cambio en las frecuencias de los fenotipos de las poblaciones siguientes.

Comparándolas con las producciones del pre, cuyas respuestas se quedaron en su mayoría en términos de relaciones en un ecosistema, aquí la mayoría de ellas se dan en términos seleccionistas. Por ejemplo, se hace referencia a la variación individual (código 1) en casi un 25% de los textos, aunque sólo un 1% explica el origen mutacional de la variación. También, aumenta el porcentaje de textos que hacen referencia al cambio de la frecuencia de genes en la población (código 4), y los que explicitan propiamente a la adaptación por selección natural (código 8,10% aproximadamente). Cabe destacar, la aparición de argumentos relacionados con el adaptacionismo de las especies (Código 10) y que recogen la lucha por sobrevivir de las especies.

### Pos 2

En este caso se observan en las respuestas unos porcentajes parecidos a la pos 1: un 28,17% hacen referencia a la variación individual (código 1), un 30,99% hacen referencia al cambio de frecuencia de los genes en la población (código 4) y un 8,45% hacen referencia explícita a la adaptación por selección natural (código 8). Aún prevalece, pero, un porcentaje de alumnos que hace referencia al origen del buffer por necesidad (código 9) o para adaptarse al medio (código 10). También es importante el bajo porcentaje de alumnos (1,41%) que hace referencia a la supervivencia en términos de ecosistema (código 6)

Aunque el enunciado hablaba explícitamente de especiación, solamente lo menciona un 4,2% de los estudiantes (código 5).

En definitiva, se ha observado como después del juego ha aumentado el porcentaje de respuestas coherentes con el razonamiento por selección natural y han disminuido aquellos razonamientos adaptacionistas y finalistas, así como el pensar más en poblaciones que en individuos.

## CONCLUSIONES

A partir del análisis de las producciones de los alumnos se ha observado una evolución en el uso de argumentos evolutivos sin que haya habido introducción de nuevos puntos de vista, y solo habiendo participado en una ronda del juego de depredador-presa.

Así, para la pregunta pre, pone de manifiesto una idea estática del ecosistema ya que la mayoría de las respuestas se dan en términos de interacciones ya establecidas entre los individuos. Parece que el ecosistema ya está formado y los conejos blancos se "incorporan" a él, de manera que la explicación se centra en el individuo y omiten la población. Éste es uno de los obstáculos que tienen los estudiantes al hablar de evolución por

selección natural, y que ya describieron González-Galli y Meinardi (2015). Pese a razonar en términos de supervivencia diferencial, no consiguen argumentar las consecuencias de esa supervivencia y pocos de ellos se plantean qué pasará en la siguiente generación. Este tipo de respuestas es coherente con la forma en la que suelen presentarse en la escuela los contenidos de ecología, como un conjunto de dogmas, cerrados, estáticos y con una única formulación posible, al margen del proceso evolutivo de sus poblaciones (Bermúdez *et al.*, 2014). El diálogo que surge durante el juego promueve cambiar la mirada de los estudiantes al describir el ecosistema como algo dinámico, es decir, como un sistema de interacciones en cambio. En el juego apareció la variable "tiempo/generaciones" y los estudiantes consideraron entonces no sólo las interacciones de organismos con su biotopo, sino también los procesos dinámicos que se dan a lo largo del tiempo y que se refieren desde la reproducción y descendencia variable de los organismos al crecimiento relativo de las poblaciones, y también a procesos de mutación, migración, selección y especiación.

Así pues, el juego sobre la interacción depredador/presa diseñada, favorece, con un acompañamiento dialógico adecuado, a la visión interactiva del ecosistema y promueve buscar justificaciones en términos de evolución por selección natural para resolver cuestiones sobre biodiversidad integrando ecología y evolución. Es realmente interesante comprobar cómo avanzan en paralelo actividad y razonamiento en la reconstrucción del modelo evolutivo. Nuestros resultados son coherentes con el de otras investigaciones que apuntan que las actividades propuestas desde el ámbito del ecosistema permiten mejorar el sentido que se da a la evolución por selección natural al tiempo que estimula la mirada interactiva del mismo (Kalinowski *et al.*, 2016, Nehm y Reilly 2007, White *et al.*, 2013). Así, podemos concluir que el juego promueve que los participantes, aunque no hayan construido nuevos conocimientos, elaboran argumentos más coherentes con la evolución por selección natural.

Consideramos que el juego favorece que los estudiantes tomen conciencia de lo que dicen o escriben. Así, el potencial didáctico del juego radica en que la escucha del pensamiento en voz alta de los estudiantes, funciona como disparador de la conciencia sobre sus fortalezas y debilidades a la hora de resolver un problema de evolución y favorece pensar en cambios apropiados en relación con la pregunta pre. Consideramos que el juego, ha actuado como mediador didáctico para la segunda actividad y ha ayudado a la mayoría de los participantes, a construir un modelo integrado de ecología y evolución, coherente con una mirada sistémica y de modelización. Por lo que podemos concluir, que el *serious game*, acompañado de las preguntas guía pertinentes, es un recurso que promueve la reconstrucción de los propios argumentos.

A partir de los resultados obtenidos, consideramos que el juego ha permitido el uso de conceptos ya construidos anteriormente, en este caso relacionados con la selección natural, y ha promovido la regulación de los mismos. A pesar de las limitaciones de la muestra, valoramos que la metodología empleada tanto en el diseño de las preguntas como en el análisis de las respuestas nos permite validar el trabajo en este contexto. Futuras investigaciones podrían discutir el uso de simulaciones de procesos de selección natural introducidas cuando se trabajan los ecosistemas en primaria y secundaria, ayudan a promover el pensamiento evolutivo.

Nos gustaría resaltar que introducir el cambio evolutivo mediante la selección natural a partir del contexto de los ecosistemas, debería ser factible desde la educación primaria, tal y como proponen currículos como los de EEUU. Y, el juego usado, que se distingue de los juegos clásicos de evolución porque permite discutir acerca de la evolución por selección natural en el contexto de unos ecosistemas determinados, podría ser una de las maneras de introducirlo en el aula. Usándolo, se promueve la idea que las poblaciones evolucionan en relación con el ecosistema y se podría contribuir a elaborar un modelo de ser vivo que contemple la variabilidad de la especie y del ecosistema, y el papel de azar en la selección natural. Así, se contribuiría a hacerles reflexionar que los seres vivos viven porque se relacionan con el hábitat que ocupan y no porque lo "necesitan" para vivir.

## AGRADECIMIENTOS

Investigación asociada al proyecto financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad ESPIGA, Epistemic School Performances, Goals and Critical thinking con referencia PGC2018-096581-B-C21 (El pensamiento y las prácticas científicas en la era de la posverdad: Promoviendo desempeños epistémicos en la escuela para una ciudadanía crítica y empoderada).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraham, J.K., Meir, E., y Perry, J. (2009). Addressing Undergraduate Student Misconceptions about Natural Selection with an Interactive Simulated Laboratory. *Evolution: Education and Outreach*, 2, 393–404. <https://doi.org/10.1007/s12052-009-0142-3>
- Bermúdez G., De Longhi A., Díaz S., Gavidia, V. (2014). La transposición del concepto de diversidad biológica. Un estudio sobre los libros de texto de la educación secundaria española. *Enseñanza de las Ciencias*, 32 (3), 285-302. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1129>
- Bertalanffy L.V. (1968). Teoría general de los sistemas. Fondo de Cultura Económica.
- Bishop, B. A., y Anderson, C. W. (1990). Student Conceptions of Natural Selection and Its Role in Evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 415-427. <http://dx.doi.org/10.1002/tea.3660270503>
- Cheng, MT., Chen, JH., Chu, SJ., Chen, S. (2015). The use of serious games in science education: a review of selected empirical research from 2002 to 2013. *Journal of Computers in Education*, 2, 353–375. <https://doi.org/10.1007/s40692-015-0039-9>
- Cheng, M.-T., y Annetta, L. (2012). Students' learning outcomes and learning experiences through playing a Serious Educational Game. *Journal of Biological Education*, 46(4) 203-2013. <https://doi:10.1080/00219266.2012.688848>
- Demastes, S. S., Settlage, J., y Good, R. G. (1995). Students' Conceptions of Natural Selection and Its Role in Evolution: Cases of Replication and Comparison. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 535-550. <http://dx.doi.org/10.1002/tea.3660320509>
- Della Costa, G. M. , Occelli, M. (2020). Análisis de simulaciones computacionales para la enseñanza del modelo de evolución biológica por selección natural. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(2), 2201. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2020.v17.i2.2201](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i2.2201)
- Doménech Girbau, M. y Marbà Tallada, A. (2022). La evolución como proceso del ecosistema. Una visión integradora. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, 108, 51-55
- García-Barros, S. (2018). La biodiversidad. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, 94, 7-12.
- Gómez Trigueros I.M. (2018) Gamificación y tecnologías como recursos y estrategias innovadoras para la enseñanza y aprendizaje de la historia. *Educação & Formação*, 3(8), 3-16.
- González-Galli, L. G., Meinardi, E. (2015). Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural, en estudiantes de escuela secundaria de Argentina. *Ciência & Educação (Bauru)*, 21, (1), 101-122. <http://www.redalyc.org/articulo.ox?id=251038425007>
- González-Galli, L, Pérez, G., Gómez-Galindo, A., y. (2018). Enseñanza de la evolución: fundamentos para el diseño de una propuesta didáctica basada en la modelización y la metacognición sobre los obstáculos epistemológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(2), 2102. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2018.v15.i2.2102](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2102)
- González-Robles A. y Vázquez-Vilchez M. (2022). Propuesta educativa para promover compromisos ambientales a través de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Bachillerato: el juego S.O.S. Civilizaciones. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 19 (1), 1103. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2022.v19.i1.1103](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i1.1103)

- Gresch, H. (2020). Teleological explanations in evolution classes: video-based analyses of teaching and learning processes across a seventh-grade teaching unit. *Evo Educ Outreach*, 13(10), 1-19. <https://doi.org/10.1186/s12052-020-00125-9>
- Hammann, M y Nehm, R. (2020). Teleology and evolution education: introduction to the special issue. *Evolution: Education and Outreach*, 13-16. <https://doi.org/10.1186/s12052-020-00130-y>
- Hanisch, S. y Eirdosh, D. (2021). Causal mapping as a teaching tool for reflecting on causation in human evolution. *Science & Education*, 30, 993–1022. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00157-z>
- Harlen, W. (ed.). (2010) Principles and Big Ideas of Science Education. Association for Science Education. <http://innovec.org.mx/home/images/Grandes%20Ideas%20de%20la%20Ciencia%20Espaol%202020112.pdf>
- Jiménez Aleixandre, M. P. y Fernández, J. (1989) ¿Han sido seleccionados o se han acostumbrado? Ideas de estudiantes de biología sobre la selección natural y consistencia entre ellas. *Infancia y Aprendizaje*, 47, 67-82
- Kalinowski, S.T., Leonard, M.J., Taper, M.L. (2016). Development and Validation of the Conceptual Assessment of Natural Selection (CANS). *CBE Life Science Education*, 15 (4), 64. <https://doi.org/10.1187/cbe.15-06-0134>
- Kelemen, D. (1999). Function, goals and intention: children's teleological reasoning about objects. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(12), 461-468. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(99\)01402-3](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01402-3)
- Margalef, R. (2012). *La nostra biosfera*. Obra original *Our Biosphere*, (1997). Universitat de València.
- Mayr, E. (1982). *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance*. The Belknap Press of Harvard University Press. [https://www.epitropakisg.gr/grigoris/Mayr\\_GrowthOfBiologicalThought.pdf](https://www.epitropakisg.gr/grigoris/Mayr_GrowthOfBiologicalThought.pdf)
- Ministerio de Educación y Formación Profesional. (2020). *Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre (LOMLOE)*. <https://www.boe.es/boe/dias/2015/01/03/pdfs/BOE-A-2015-37.pdf>
- National Research Council (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. The National Academies Press.
- Nehm, R. H. y Reilly, L. (2007). Biology Majors' Knowledge and Misconceptions of Natural Selection. *BioScience*, 57, 263-272. <http://dx.doi.org/10.1641/B570311>
- PhET Interactive Simulations Natural Selection <https://phet.colorado.edu/en/simulations/natural-selection>
- Ruiz R., Álvarez E., Noguera R., Esparza M. (2012). Enseñar y aprender biología evolutiva en el siglo XXI. *Bio-grafía: Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*; 5, (9), 80-88. <http://dx.doi.org/10.17227/20271034.vol.5num.9biografia80.88>
- Shabnam, M.; Kiriazis, N. M.; y Neuman-Lee, L. A. (2020). The Natural Selection Game: Incorporating Active Learning in Evolution Curricula for General Biology. *The American Biology Teacher*, 82 (2). <https://doi.org/10.1525/abt.2020.82.2.104>
- Verhoeff, R.P., Waarlo, A. J., y Boersma, K. T. (2008). Systems Modelling and the Development of Coherent Understanding of Cell Biology. *International Journal of Science Education*, 30(4), 543-568.
- White, P. Jt., Merle K., Heidemann, M.K., y Smith, J. J. (2013). New Integrative Approach To Evolution Education. *BioSciences*, 63 (7). <http://www.evo-ed.com/resources/2013%20white%20heidemann%20and%20smith.pdf>

## INFORMACIÓN ADICIONAL

Para citar este artículo: Doménech Girbau, M. y Marbá Tallada, A. (2023) Gamificar la evolución: el ecosistema como contexto para la aplicación del pensamiento evolutivo. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 20(1), 1304. doi: 10.25267/Rev\_Eureka\_ensen\_divulg\_cienc.2023.v20.i1.1304