Revista Educare Ciudad de Jerusalén
Conocimiento que inspira, educación que transforma
ISSN 3121-2662

Vol. 1, Núm. 4 (Julio,2026) | Sección: Artículos de Investigación

DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.21713083

El Entorno Didáctico de la Biología en el Bachillerato: Enfoques Metodológicos, Experimentación y Recursos Tecnológicos para el Desarrollo del Pensamiento Científico

The Didactic Environment for Biology in Upper Secondary Education: Methodological Approaches, Experimentation, and Technological Resources for the Development of Scientific Thinking

Julia Fabiola Quezada Lozada

Unidad educativa Kasama, Santo Domingo –Ecuador

quezadajuliafabiola@gmail.com

ORCID 0000-0001-5094-3224

Recibido: 19 de Junio del 2026

Aceptado: 20 de Julio. 2026

Publicado: 31 de Julio de 2026.

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Resumen

La enseñanza de la Biología en el nivel de Bachillerato (estudiantes de entre 15 y 18 años) representa un espacio pedagógico determinante para la consolidación del pensamiento científico, la alfabetización biotecnológica y la conciencia ambiental. En esta etapa de desarrollo evolutivo, el estudiantado transita decididamente del pensamiento descriptivo-concreto hacia el razonamiento analítico, abstracto e hipotético-deductivo. No obstante, la enseñanza tradicional de esta disciplina ha padecido históricamente de un sesgo memorístico y enciclopédico, donde la vida se reduce a la memorización de nomenclaturas complejas y ciclos bioquímicos descontextualizados.

El presente artículo de investigación ofrece un marco teórico, metodológico y práctico exhaustivo para reestructurar el entorno de aprendizaje de la biología escolar. Se

Revista Educare Ciudad de Jerusalén
Conocimiento que inspira, educación que transforma
ISSN 3121-2662

examinan enfoques centrados en el Aprendizaje Basado en Indagación (ABI), el modelo Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA), la reconceptualización

del trabajo de laboratorio desde la experimentación genuina, el uso de herramientas de ciencia ciudadana y la integración crítica de simulación digital, bioinformática

escolar e Inteligencia Artificial Generativa. Asimismo, se propone una matriz de evaluación formativa multinivel orientada a medir competencias científicas

procesales en lugar de la mera retención léxica. Se concluye que un entorno de biología científicamente riguroso y didácticamente contextualizado transforma al estudiante de un espectador pasivo a un sujeto activo capaz de tomar decisiones informadas ante los desafíos éticos, sanitarios y ambientales del siglo XXI.

Palabras clave: Didáctica de la Biología, Bachillerato, Aprendizaje Basado en Indagación, Trabajo de Campo, Bioinformática Escolar, Evaluación Formativa, Enfoque CTSA.

Abstract

Teaching Biology at the High School level (students aged 15 to 18) represents a crucial pedagogical space for consolidating scientific thinking, biotechnological literacy, and environmental awareness. At this stage of developmental evolution, students decisively transition from concrete-descriptive thinking to analytical, abstract, and hypothetico-deductive reasoning. However, traditional instruction in this discipline has historically suffered from a memoristic and encyclopedic bias, where life is reduced to memorizing complex nomenclatures and decontextualized biochemical cycles.

This research paper offers a comprehensive theoretical, methodological, and practical framework to restructure the high school biology learning environment. It examines approaches focused on Inquiry-Based Learning (IBL), the Science, Technology, Society, and Environment (STSE) framework, the reconceptualization of laboratory work through genuine experimentation, the use of citizen science tools, and the critical integration of digital simulations, school bioinformatics, and Generative Artificial Intelligence. Furthermore, a multilevel formative assessment matrix is proposed, designed to measure procedural scientific competencies rather than mere lexical retention. It is concluded that a scientifically rigorous and didactically contextualized biology environment transforms the student from a passive spectator into an active agent capable of making informed decisions regarding the ethical, health, and environmental challenges of the 21st century.

Keywords: Biology Didactics, High School, Inquiry-Based Learning, Fieldwork, School Bioinformatics, Formative Assessment, STSE Approach.

Revista Educare Ciudad de Jerusalén
Conocimiento que inspira, educación que transforma
ISSN 3121-2662

1. Introducción: La Necesidad de una Redefinición Didáctica

La Biología es la ciencia que estudia la vida en todas sus manifestaciones, escalas y complejidades, desde la dinámica macromolecular en la expresión génica hasta las

interacciones biogeoquímicas a escala biosférica. Paradójicamente, la forma en que esta disciplina se ha enseñado frecuentemente en las aulas de Bachillerato dista de transmitir la fascinación, el dinamismo y el rigor del método científico. Con excesiva

frecuencia, el currículo de biología escolar se convierte en una sucesión de definiciones conceptuales, memorización de vocabulario técnico en latín o griego, y diagramas estáticos que los estudiantes deben reproducir mecánicamente en pruebas escritas.

El Bachillerato constituye el último tramo de la educación formal obligatoria o preuniversitaria. Durante esta etapa, las capacidades neurocognitivas de los jóvenes experimentan un salto cualitativo significativo: la corteza prefrontal alcanza grados de maduración que permiten el desarrollo refinado de las funciones ejecutivas, la formulación de hipótesis complejas, el control de variables en situaciones multicausales y la reflexión bioética profunda (Giere, 2006; Lawson, 2000). Por tanto, mantener un enfoque pedagógico centrado en la transmisión pasiva de contenidos no solo resulta ineficaz para el aprendizaje duradero, sino que atrofia el desarrollo de las competencias científicas fundamentales.

Tabla 1

Comparativa: Paradigma Tradicional vs. Paradigma Investigativo (ABI)

Dimensión Pedagogíca	**Paradigma Tradicional / Transmisivo**	**Paradigma Investigativo / ABI (Indagación)**
Rol del Estudiante	Receptor pasivo (memorización de nomenclatura y conceptos).	Agente activo (formulación de preguntas e hipótesis).
Trabajo Práctico	Prácticas dirigidas estilo "receta de cocina" con resultado predeterminado.	Experimentación real, diseño de procedimientos y control de variables.

Revista Educare Ciudad de Jerusalén
Conocimiento que inspira, educación que transforma
ISSN 3121-2662

Contextualización	Conceptos teóricos abstractos y desvinculados de la realidad.	Enfoque CTSA (Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente) y dilemas éticos/bioética.
Evaluación	Sumativa mediante exámenes escritos y pruebas fijas de memoria.	Formativa, continua y orientada a la evaluación del proceso de aprendizaje.

El reto de la educación biológica contemporánea radica en transitar de una **biología para recordar** a una **biología para hacer, pensar y juzgar**. Vivimos en una época moldeada por avances vertiginosos en ingeniería genética, edición genómica mediante CRISPR-Cas9, terapias de ARN mensajero, aceleración de la pérdida de biodiversidad y crisis climáticas globales. Los ciudadanos del presente y del futuro inmediato no requieren ser enciclopedias ambulantes de terminología biológica; necesitan comprender cómo opera la ciencia, cómo se construyen y refutan las evidencias empíricas, y cómo emplear el pensamiento biológico para participar con criterio en los debates públicos de su sociedad.

Este trabajo analiza exhaustivamente cómo estructurar un entorno de aprendizaje de la biología en Bachillerato que combine la fundamentación epistemológica, las metodologías de indagación, la experimentación rigurosa de aula y campo, y la integración estratégica de tecnologías emergentes.

2. Marco Teórico y Fundamentos Epistemológicos

2.1 La Naturaleza de la Ciencia (NOS) en la Biología Escolar

Para comprender cómo enseñar biología, es indispensable revisar primero qué es la biología como disciplina científica. La enseñanza de la Naturaleza de la Ciencia (*Nature of Science* - NOS) postula que el aprendizaje científico debe incluir no solo los **productos** de la ciencia (leyes, teorías, modelos, conceptos), sino también sus **procesos**, sus marcos epistemológicos y sus valores humanos (Lederman, 2007; Kampourakis, 2014).

En la biología, la construcción del conocimiento posee particularidades epistemológicas distintivas que la diferencian de ciencias como la física o la química pura:

- **Emergencia y Complejidad:** Los sistemas biológicos exhiben propiedades emergentes en cada nivel de organización (molecular, celular, tisular,

Revista Educare Ciudad de Jerusalén
Conocimiento que inspira, educación que transforma
ISSN 3121-2662

orgánico, poblacional, ecosistémico) que no pueden explicarse reduccionistamente de manera aislada.

- **Pensamiento Poblacional y Variación:** A diferencia de las leyes físicas universales deterministas, la biología opera bajo el paradigma de la variación probabilística y el pensamiento evolutivo (Mayr, 2004).
- **Historico-Evolutiva:** Todo fenómeno biológico tiene una causa próxima (fisiológica/mecanicista) y una causa última (evolutiva/adaptativa). Ernst Mayr denominó a esto la dualidad causal de la biología.

Cuando el docente traslada esta visión epistemológica al aula, evita presentar la biología como un dogma cerrado de verdades inmutables. En su lugar, la muestra

como un proceso dinámico de construcción de modelos explicativos sujetos a revisión constante en función de nuevas evidencias.

2.2 Desarrollo del Razonamiento Científico en Estudiantes de 15 a 18 años

Desde la perspectiva de la psicología cognitiva y del aprendizaje constructivista (Piaget, 1972; Vygotsky, 1978; Driver et al., 1994), el estudiantado de Bachillerato se encuentra en la etapa de consolidación del **pensamiento formal y del razonamiento hipotético-deductivo**. Este estadio se caracteriza por las siguientes capacidades:

Gráfico 1



Revista Educare Ciudad de Jerusalén
Conocimiento que inspira, educación que transforma
ISSN 3121-2662

Sin embargo, la investigación didáctica (Gil-Pérez et al., 2002; Sanmartí, 2002) ha demostrado de forma consistente que el desarrollo de estas competencias no ocurre de manera automática por el solo hecho de madurar cronológicamente. Requiere de una **mediación pedagógica intencionada**, donde el docente diseñe situaciones de

aprendizaje que demanden explícitamente el uso de estas funciones cognitivas superiores.

2.3 El Enfoque CTSA (Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente)

El enfoque CTSA en la educación científica busca contextualizar el aprendizaje de las ciencias dentro de la matriz social, cultural, ética y económica de la comunidad (Aikenhead, 2006; Membiela, 2001). En el área de la biología, la perspectiva CTSA

no es un complemento secundario u opcional, sino el núcleo sobre el cual cobra sentido el contenido teórico.

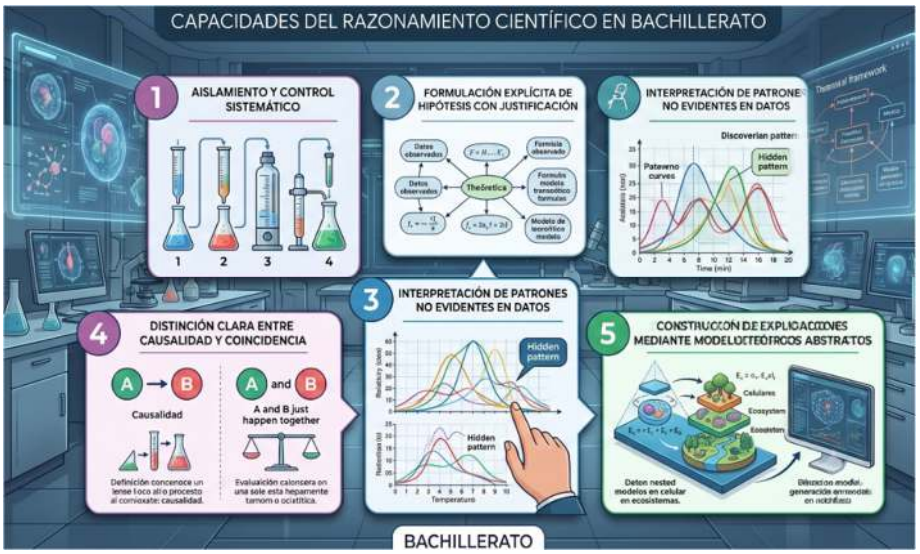
Aprender la replicación del ADN o el dogma central de la biología molecular adquiere una dimensión profundamente distinta cuando se vincula con la producción de insulina recombinante, la justicia forense, la clonación o la edición genética de embriones humanos. El enfoque CTSA fomenta la **alfabetización científica ciudadana**, preparando al estudiante para evaluar noticias, desmontar la pseudociencia y tomar posiciones éticas fundamentadas ante dilemas sociocientíficos.

3. Ejes Temáticos y Transposición Didáctica

La transposición didáctica (Chevallard, 1991) es el proceso mediante el cual el "saber sabio" (el conocimiento científico producido por los investigadores) se transforma en "saber enseñado" (un contenido escolar accesible, riguroso y significativo). En el Bachillerato, los cuatro ejes temáticos estructurantes de la biología deben abordarse mediante estrategias metodológicas específicas:

Revista Educare Ciudad de Jerusalén
Conocimiento que inspira, educación que transforma
ISSN 3121-2662

Gráfico 2



3.1 Biología Celular y Molecular: De la Invisibilidad a la Modelización

Uno de los mayores obstáculos en la enseñanza de la biología celular y molecular es la **escala microscópica y nanoscópica** de sus componentes. Los estudiantes

tienden a memorizar partes de la célula o etapas de la respiración celular sin lograr visualizar cómo estos procesos ocurren dinámicamente en un espacio tridimensional.

- **Estrategia Didáctica:** Reemplazar los dibujos planos y las definiciones estáticas por la **modelización conceptual activa**. Los estudiantes deben construir modelos tridimensionales (físicos o digitales) que no sean meras réplicas estáticas, sino representaciones funcionales. Por ejemplo, modelar la inhibición enzimática competitiva y no competitiva utilizando materiales manipulables o simular el proceso de traducción del ARNm a proteína mediante dinámicas grupales o software interactivo.

3.2 Genética y Biotecnología: Superando el Mendelianismo Mecánico

La genética escolar suele quedar atascada en la resolución repetitiva de Cuadros de Punnett para rasgos monogénicos simples (dominancia/recesividad piagetiana). Esto genera en los estudiantes la falsa idea de que la herencia biológica es un proceso estrictamente determinista y simplista.

- **Estrategia Didáctica:** Incorporar desde el inicio la **complejidad de la genética moderna**: herencia poligénica, pleiotropía, codominancia, dominancia incompleta y, fundamentalmente, la **epigenética** (cómo el

ambiente modula la expresión génica sin alterar la secuencia de nucleótidos). El aprendizaje de la biotecnología debe articularse mediante el análisis de dilemas bioéticos reales: *¿Es ético patentar secuencias genéticas? ¿Qué impactos ambientales y económicos produce el cultivo de transgénicos en nuestra región?*

3.3 Ecología, Biodiversidad y Conservación: Del Libro al Territorio

La ecología en Bachillerato no puede enseñarse exclusivamente dentro del aula mediante diagramas de redes tróficas sacados de un libro de texto extranjero. La comprensión de los ecosistemas requiere la reconexión con el territorio local y el análisis de la biodiversidad autóctona.

- **Estrategia Didáctica:** Aplicar la **ecología del paisaje local**. Estudiar los ecosistemas cercanos (bosques, ríos, zonas urbanas, estuarios, agroecosistemas) evaluando las presiones antrópicas, el ciclo de nutrientes, la introducción de especies invasoras y los servicios ecosistémicos. La biodiversidad debe estudiarse no solo desde la taxonomía, sino desde la teoría evolutiva y la resiliencia ecológica.

3.4 Fisiología y Anatomía Humana: La Perspectiva Sistémica e Integradora

El estudio del cuerpo humano a menudo sufre de una visión fragmentada: se enseña el sistema digestivo de forma aislada del circulatorio, el respiratorio o el renal. Esta aproximación impide que el estudiante comprenda el concepto biológico unificador por excelencia de la fisiología: la **homeostasis**.

- **Estrategia Didáctica:** Utilizar el enfoque de **sistemas integrados y retroalimentación**. Los estudiantes analizan cómo el cuerpo responde de forma coordinada ante situaciones de estrés fisiológico real (ejemplo: el ejercicio físico intenso, la deshidratación o el ayuno prolongado), rastreando la interacción de los sistemas nervioso, endocrino, cardiovascular y excretor para restablecer el equilibrio interno.

4. Metodologías Activas para la Indagación Biológica

4.1 Aprendizaje Basado en Indagación (ABI) y el Ciclo de las 5E

El Aprendizaje Basado en Indagación (*Inquiry-Based Learning*) es el modelo didáctico por excelencia para las ciencias naturales (National Research Council, 2000; Pedaste et al., 2015). Se fundamenta en reflejar en el aula los mismos procesos investigativos que realizan los científicos profesionales.

Una de las operacionalizaciones más efectivas del ABI es el **Modelo de las 5E** (Bybee, 2006):

Tabla 2

Etapa	**Descripción de la Actividad**
1. ENGAGE (Enganchar)	Presentación de un fenómeno anómalo o pregunta provocadora.
2. EXPLORE (Explorar)	Experimentación activa, recolección de datos, manipulación de variables.
3. EXPLAIN (Explicar)	Formulación de explicaciones propias y conexión con teoría científica.
4. ELABORATE (Elaborar)	Aplicación de los nuevos conceptos a situaciones novedosas complejas.
5. EVALUATE (Evaluar)	Autoevaluación, coevaluación y valoración formativa del proceso.

Ejemplo Aplicado en el Aula de Bachillerato:

- **Enganchar:** Se muestra una manzana cortada que se ha vuelto marrón en minutos frente a otra manzana cortada sumergida en jugo de limón que mantiene su color.
- **Explorar:** Los estudiantes diseñan en grupos un experimento para probar la tasa de pardeamiento enzimático cambiando variables (pH, temperatura, concentración de oxígeno, presencia de inhibidores).
- **Explicar:** Tras medir cuantitativamente la intensidad del pardeamiento, los estudiantes proponen hipótesis sobre la estructura y función de la enzima polifenol oxidasa y la desnaturalización proteica.
- **Elaborar:** Aplican el concepto para diseñar estrategias de conservación de alimentos a escala industrial sin usar químicos tóxicos.
- **Evaluar:** Miden la calidad de su informe científico y la precisión de sus análisis mediante una rúbrica de indagación.

Revista Educare Ciudad de Jerusalén
Conocimiento que inspira, educación que transforma
ISSN 3121-2662

4.2 Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) y Estudio de Casos

El ABP y el estudio de casos centran el aprendizaje en la resolución de situaciones complejas, abiertas y del mundo real (Hmelo-Silver, 2004). En la biología de Bachillerato, esta metodología resulta idónea para abordar dilemas médicos, epidemiológicos y ambientales.

- **Ejemplo de Caso Epidemiológico:** "El brote misterioso en la comunidad X". Se entrega a los estudiantes un expediente simulado con síntomas de pacientes, análisis sanguíneos cuantitativos, mapas de la región y datos ambientales. Los grupos deben aplicar conocimientos de microbiología, inmunología y ecología para identificar al agente patógeno (bacteria, virus, parásito), determinar su vía de transmisión y proponer un plan de contención de salud pública.

4.3 Trabajo de Campo y Ciencia Ciudadana

El trabajo de campo no debe considerarse una excursión recreativa, sino una **investigación científica fuera del aula**. Aporta una dimensión vivencial irremplazable que conecta la teoría ecológica con la realidad ecológica (Rickinson et al., 2004).

Complementariamente, la integración de la **Ciencia Ciudadana (*Citizen Science*)** permite a los estudiantes participar en proyectos de investigación reales con alcance global (Bonney et al., 2009):

Tabla 3

Plataforma	**Enfoque Principal**	**Aplicación Didáctica**
iNaturalist	Registro de biodiversidad mundial mediante fotografía.	Muestreo ecológico, mapeo de flora/fauna.
eBird	Monitoreo de avifauna e ornitología comunitaria.	Análisis de migraciones y hábitats locales.
Globe Observer	Datos ambientales, nubes, cubiertas del suelo, larvas.	Correlación clima-cobertura vegetal.

Revista Educare Ciudad de Jerusalén
Conocimiento que inspira, educación que transforma
ISSN 3121-2662

Mediante el uso de estas aplicaciones en sus teléfonos inteligentes, los estudiantes fotografían especies, identifican su taxonomía con ayuda de algoritmos y de la comunidad de científicos, y suben los datos georreferenciados. Esto convierte sus observaciones escolares en datos valiosos para investigadores de todo el planeta.

5. La Práctica de Laboratorio: De la "Receta" a la Investigación

El laboratorio de ciencias en la escuela ha sido criticado ampliamente cuando se limita a ser un taller donde los estudiantes siguen ciegamente una "guía paso a paso" para comprobar un resultado que ya conocen de antemano (Hodson, 2014; Hofstein & Lunetta, 2004). Si el estudiante solo ejecuta instrucciones sin pensar en el fundamento del diseño experimental, la actividad carece de valor cognoscitivo elevado.

Tabla 4

Enfoque	**Guía Tradicional ("Receta")**	**Laboratorio de Indagación**
Título / Enfoque inicial	Título que revela el resultado de antemano.	Pregunta de investigación abierta.
Procedimiento y Materiales	Materiales e instrucciones rígidas a seguir.	El estudiante selecciona sus variables y diseña el proceso.
Objetivo del Experimento	Confirmación de la teoría descrita en el libro.	Descubrimiento y análisis de datos o anomalías.
Análisis y Cierre	Preguntas de respuesta única predeterminada.	Discusión de fuentes de error, sesgo y limitaciones.

5.1 Reestructuración de la Guía de Laboratorio

Para transformar una práctica de laboratorio tradicional en una experiencia investigativa, el docente debe reestructurar el planteamiento:

1. **Sustituir la instrucción cerrada por la pregunta problema:** En lugar de *"Demostración de la fotosíntesis mediante el método del tubo con Elodea"*,

titular: *"¿Qué factores ambientales determinan la tasa fotosintética en plantas acuáticas?"*.

2. **Otorgar autonomía en el diseño:** Proporcionar los materiales disponibles (fuentes de luz, filtros de colores, soluciones de bicarbonato de sodio, termómetros, cronómetros), pero exigir que cada equipo de estudiantes formule su hipótesis, defina cuál será su **variable independiente**, su **variable dependiente** y cuáles serán sus **variables de control**.
3. **Exigir réplicas experimentales:** En ciencia real, un experimento con $n=1$ no tiene validez estadística. Los estudiantes deben realizar múltiples réplicas de sus mediciones, calcular medias, desviaciones estándar simples y graficar sus datos adecuadamente.

5.2 Bioseguridad y Ética en la Experimentación Biológica

El trabajo de laboratorio e investigación en biología escolar exige un compromiso irrenunciable con las normas de bioseguridad y los principios éticos:

- **Bioseguridad:** Manejo adecuado de material biológico, uso obligatorio de batas de laboratorio, gafas de protección y guantes al trabajar con reactivos químicos o muestras orgánicas. Eliminación correcta de desechos biológicos y químicos (no verter solventes o colorantes por el drenaje común).
- **Ética con Seres Vivos:** Respeto absoluto hacia la vida animal y vegetal. Queda éticamente proscrita cualquier práctica que implique sufrimiento o mutilación inútil de vertebrados. Cuando se trabaja con invertebrados (ej. *Daphnia*, lombrices de tierra, moscas *Drosophila*), debe garantizarse un

  manejo ético, manteniendo las condiciones ambientales óptimas y minimizando el estrés.

5.3 Laboratorios de Bajo Costo y Recursos Caseros

La falta de reactivos costosos o de infraestructura de alta tecnología no debe ser una excusa para omitir la experimentación práctica. La **biología experimental de bajo costo** permite desarrollar investigaciones científicas de excelente nivel utilizando insumos accesibles:

- **Extracción de ADN casero:** Extracción de material genético de tejido vegetal (fresas, plátanos, cebollas) utilizando detergente lavavajillas (para romper la membrana lipídica), sal (para neutralizar las cargas del ADN) y alcohol antiséptico frío (para precipitar la cromatina).

- **Osmosis y Presión Turgente:** Estudio de la permeabilidad celular en tiras de papa o membranas de huevo descalcificadas sumergidas en soluciones salinas/azucaradas con diferentes concentraciones osmóticas (hipotónica, isotónica, hipertónica).
- **Respiración Celular en Levaduras:** Medición de la tasa de fermentación alcohólica de *Saccharomyces cerevisiae* en globos adaptados a botellas plásticas, variando el tipo de sustrato (glucosa, sacarosa, almidón, edulcorantes artificiales) o la temperatura.

6. Integración de TIC, Simulaciones y la Inteligencia Artificial Generativa

6.1 Laboratorios Virtuales y Simulaciones Interactivas

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) no reemplazan la experimentación física, pero la complementan de forma poderosa, permitiendo visualizar procesos abstractos o realizar experimentos que de otro modo serían peligrosos, costosos o requerirían meses de observación (Rutten et al., 2012).

Tabla 5

Recurso	**Descripción**	**Aplicación Pedagógica**
PhET Interactive Simulations *(Univ. de Colorado)*	Simulaciones gratuitas desarrolladas por la Universidad de Colorado Boulder.	Expresión génica, selección natural, neuronas, fotosíntesis.
Labster / ChemCollective	Entornos de laboratorio virtual inmersivo en 3D.	Genética molecular, PCR, electroforesis.
BioDigital Human	Modelo anatómico 3D interactivo e hiperrealista.	Exploración interactiva de órganos y sistemas.

Por ejemplo, la simulación de *Selección Natural* de PhET permite a los estudiantes manipular la presencia de depredadores, la disponibilidad de alimento y las mutaciones de pelaje en una población de conejos a lo largo de decenas de generaciones, analizando cuantitativamente cómo cambian las frecuencias alélicas en tiempo real.

6.2 Introducción a la Bioinformática Escolar

La bioinformática es la disciplina que aplica la informática y la estadística al análisis de datos biológicos masivos (ADN, ARN, proteínas). Incluir nociones básicas de bioinformática en el Bachillerato democratiza el acceso a la ciencia de frontera:

- **NCBI (National Center for Biotechnology Information):** Los estudiantes aprenden a utilizar la herramienta **BLAST (Basic Local Alignment Search Tool)** para ingresar secuencias hipotéticas de nucleótidos o aminoácidos obtenidas de un "fósil desconocido" o una enfermedad patógena, comparándolas con bases de datos mundiales para identificar la especie o la mutación correspondiente.
- **UniProt y PyMOL/Swiss-PDB:** Visualización tridimensional e interactiva de la estructura secundaria y terciaria de proteínas (como la hemoglobina, la insulina o la proteína Spike del SARS-CoV-2), comprendiendo el impacto directo que una sustitución puntual de aminoácidos produce en el plegamiento espacial.

6.3 La Inteligencia Artificial Generativa (IAG) como Copiloto Científico

La irrupción de la IAG (modelos de lenguaje a gran escala) en la educación no debe ser ignorada. En el entorno de la biología, la IAG puede funcionar como un **asistente de investigación y auditoría de información** bajo la supervisión docente:

- **Formulación y Refinamiento de Prompts para la Investigación:**

  El estudiante utiliza la IAG para solicitar la estructuración de diseños experimentales complejos o la traducción de artículos científicos.

- **Auditoría de "Alucinaciones" Biológicas:**

  El docente entrega a los estudiantes un texto sobre un tema biológico (ej. síntesis de proteínas) generado por IAG que contiene tres errores conceptuales o imprecisiones taxonómicas deliberadas. La tarea del estudiante consiste en auditar el texto utilizando fuentes bibliográficas validadas, identificar los errores del modelo algorítmico y redactar una refutación argumentada.

7. Matriz de Evaluación Formativa del Pensamiento Científico

La evaluación en la biología de Bachillerato no puede quedar reducida a exámenes tradicionales de opción múltiple que premian la memorización de corto plazo. Se requiere un enfoque de **evaluación formativa y autentica** (Black & Wiliam, 2009; Sanmartí, 2002) que mida la capacidad del estudiante para aplicar el pensamiento científico en contextos diversos.

A continuación, se presenta una rúbrica analítica multinivel diseñada para evaluar informes de investigación biológica y trabajos prácticos de indagación:

Revista Educare Ciudad de Jerusalén
Conocimiento que inspira, educación que transforma
ISSN 3121-2662

Tabla 6

Criterio de Evaluación	**Nivel 1: Inicial (En Desarrollo)**	**Nivel 2: Intermedio (Logrado)**	**Nivel 3: Avanzado (Excelente)**
Formulación de Preguntas e Hipótesis	Plantea preguntas vagas o descriptivas ("¿Qué es la célula?"). La hipótesis no se fundamenta en teoría.	Formula preguntas investigables que relacionan dos variables. Plantea hipótesis claras.	Formula preguntas de indagación precisas, delimitando variables. Plantea hipótesis deducidas rigurosamente de modelos teóricos.
Diseño Experimental y Control de Variables	No identifica las variables de control. Omite réplicas experimentales. El procedimiento es ambiguo.	Identifica la variable independiente y dependiente. Incluye réplicas básicas. Describe el método.	Diseña un experimento controlado aislando variables intervinientes. Establece réplicas suficientes y detalla la bioseguridad.
Análisis y Representación de Datos	Presenta datos crudos desorganizados. No construye gráficos o utiliza tipos de gráfico erróneos.	Organiza datos en tablas graduadas. Construye gráficos adecuados identificando los ejes con unidades.	Modela datos cuantitativos, calcula medidas de tendencia central/dispersión. Construye gráficos precisos e interpreta anomalías.
Argumentación y Conclusiones Científicas	Confunde la descripción de resultados con la conclusión. Acepta	Evalúa la hipótesis en función de los datos obtenidos. Conecta los	Argumenta la validez o refutación de la hipótesis basándose en evidencias empíricas. Discute

ISSN 3121-2662

	la hipótesis sin evidencia.	hallazgos con la teoría del texto.	fuentes de error y propone mejoras.
Conciencia CTSA y Bioética	No percibe la relación entre el tema biológico y el entorno social o ambiental.	Identifica impactos ambientales o éticos asociados al fenómeno, de forma general.	Analiza críticamente dilemas bioéticos y sociocientíficos, evaluando posturas diversas con argumentos informados.

8. Discusión y Desafíos Pedagógicos en el Aula Contemporánea

La transformación de la enseñanza de la biología en el Bachillerato no está exenta de desafíos y tensiones estructurales que el docente y las instituciones educativas deben gestionar con pragmatismo y visión crítica:

1. **La Presión de los Currículos Sobrecargados:** En muchos sistemas educativos, los programas oficiales de biología son hipertrofiados, exigiendo cubrir decenas de temas en pocas horas semanales. Esto tienta al docente a recurrir a la clase magistral apresurada. La solución didáctica radica en la **priorización de grandes ideas de la ciencia** (*Big Ideas in Science*, Harlen, 2010), enseñando en profundidad los principios unificadores (evolución, homeostasis, flujo de energía, información genética) en lugar de la acumulación de datos enciclopédicos.
2. **La Resistencia al Cambio Metodológico:** Pasar de un modelo centrado en la transmisión a uno centrado en la indagación genera inicialmente inseguridad tanto en los docentes como en los propios estudiantes, quienes están acostumbrados a recibir "la respuesta correcta" sin esfuerzo analítico. Requiere un proceso gradual de andamiaje (*scaffolding*) donde la autonomía se transfiera progresivamente.
3. **La Brecha de Infraestructura y Conectividad:** La brecha digital y la escasez de recursos en ciertos contextos socioeducativos exigen privilegiar metodologías adaptables, donde la indagación se desarrolle con materiales del entorno inmediato, la naturaleza local y herramientas desconectadas de bajo costo.

9. Conclusiones

Superación del Modelo Transmisivo: La biología en el Bachillerato debe abandonar definitivamente la retención memorística de nomenclaturas descontextualizadas para convertirse en una disciplina viva, donde los

estudiantes aprenden a investigar, formular preguntas, manipular variables y pensar con rigor científico.

Integración Metodológica Holística: La combinación sinérgica del Aprendizaje Basado en Indagación (ABI), el modelo CTSA, el trabajo de campo con herramientas de ciencia ciudadana, la experimentación de laboratorio auténtica y el uso de simulaciones digitales constituye la vía más efectiva para desarrollar el razonamiento hipotético-deductivo en jóvenes de 15 a 18 años.

Formación para la Ciudadanía Crítica: El propósito último de un entorno de biología científicamente riguroso no es únicamente preparar a la minoría de estudiantes que seguirá carreras STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*), sino formar ciudadanos alfabetizados científicamente, capaces de comprender los grandes desafíos de la salud, la biotecnología, la biodiversidad y el cambio climático en el siglo XXI.

10. Referencias Bibliográficas

Aikenhead, G. S. (2006). *Science education for everyday life: Evidence-based practice*. Teachers College Press.

Black, P., & Wiliam, D. (2009). Developing the theory of formative assessment. *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, 21(1), 5–31. https://doi.org/10.1007/s11092-008-9068-5

Bonney, R., Cooper, C. B., Dickinson, J., Kelling, S., Phillips, T., Rosenberg, K. V., & Shirk, J. L. (2009). Citizen science: A developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. *BioScience*, 59(11), 977–984. https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.11.9

Bybee, R. W. (2006). *Enhancing science teaching and learning with technology: 50 years of BSCS*. BSCS Press.

Chevallard, Y. (1991). *La transposición didáctica: Del saber sabio al saber enseñado*. Aique Grupo Editor.

Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994). *Making sense of secondary science: Research into children's ideas*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203138090

Giere, R. N. (2006). *Understanding scientific reasoning* (5th ed.). Wadsworth Publishing.

Gil-Pérez, D., Guisasola, J., Moreno, A., Cachapuz, A., Pessoa de Carvalho, A. M., Martínez Torregrosa, J., Salinas, J., Valdés, P., González, E., Gené, A., & Dumas-Carré, A. (2002). Defoucaulting science teaching: Defending a constructivist approach. *Science & Education*, 11(6), 557–571. https://doi.org/10.1023/A:1019039318187

Harlen, W. (Ed.). (2010). *Principles and big ideas of science education*. Association for Science Education (ASE).

Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266. https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3

Hodson, D. (2014). Learning science, learning about science, doing science: Structured approaches to learning science and learning through science. *International Journal of Science Education*, 36(15), 2534–2557. https://doi.org/10.1080/09500693.2014.931839

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28–54. https://doi.org/10.1002/sce.10106

Kampourakis, K. (2014). *Understanding evolution*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139567404

Lawson, A. E. (2000). How do students devise hypotheses and tests from theories? *Science Education*, 84(4), 482–507. https://doi.org/10.1002/1098-237X(200007)84:4<482::AID-SCE6>3.0.CO;2-B

Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831–879). Lawrence Erlbaum Associates.

Mayr, E. (2004). *What makes biology unique? Considerations on the autonomy of a scientific discipline*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511606854

Membiela, P. (Ed.). (2001). *Enseñanza de las ciencias desde la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad*. Narcea Ediciones.

National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/9596

ISSN 3121-2662

Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47–61. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003

Sanmartí, N. (2002). *Evaluar para aprender: 10 ideas clave*. Editorial Graó.