

Aprendizaje tridimensional con actividades indagatorias

Three-dimensional learning with inquiry activities

Isabel López Zamora

Universidad Veracruzana

ilopez@uv.mx

<https://orcid.org/0000-0002-9378-6748>

Resumen

En este estudio se presenta la adopción del concepto de aprendizaje tridimensional, con la finalidad de adaptar, caracterizar y desarrollar actividades indagatorias en un curso de ecología de plantas que puedan alinearse adecuadamente con este entorno de aprendizaje y que apoyen a los estudiantes en el desarrollo de la experiencia disciplinaria, además de que les permitan integrar las ideas centrales, las prácticas científicas y los conceptos interdisciplinarios y poner en práctica su conocimiento. Se proporciona una descripción detallada de la estructura de las actividades basadas en la indagación, previamente exploradas y modificadas para su alineación con el aprendizaje tridimensional. El enfoque se plantea sobre las evidencias de la caracterización de las actividades desarrolladas en el curso, a fin de generar información acerca de lo que saben los estudiantes y de lo que pueden hacer con su conocimiento en conexión con su entorno natural a nivel local.

Palabras clave: ecología de plantas, ambientes naturales, indagación científica, investigación.

Abstract

In this study is introduced the use of the tridimensional learning concept, with the aim to fit, characterize and develop inquiry learning activities to be carried out in a plant ecology course that align with this learning environment to support student development of disciplinary expertise and to elicit evidence about how students integrate core ideas, scientific practices and crosscutting concepts and put their knowledge to use. A detailed description of the structure of previously explored inquiry based learning activities that were modified to align with the tridimensional learning environment is presented. The focus is presented on evidence of the characterization of the inquiry learning activities to provide insight on what students know about plant ecology and what they can do with their knowledge and engaged with a local natural environment.

Keywords: plant ecology, natural environments, scientific inquiry, research.

Fecha Recepción: Julio 2022

Fecha Aceptación: Enero 2023

Introducción

La gran mayoría de los profesores y facilitadores estarían de acuerdo en que el objetivo principal de la educación es el de ayudar a los estudiantes a desarrollar un profundo conocimiento que pueda, a su vez, ser transferible; sin embargo, en la práctica, el escenario se complica y existe menos consenso. En un trabajo previo, se tuvo oportunidad de presentar una mejora al desarrollo curricular y diseño instruccional en un curso universitario, al adoptar un aprendizaje activo basado en tareas de índole indagatoria. Con este abordaje, se logró conectar a los estudiantes con su entorno inmediato, facilitar la aplicación de su conocimiento y, principalmente, evidenciar cómo ocurrió su aprendizaje y el impacto que esto tuvo en su localidad. El presente análisis está basado en una visión del conocimiento que, por un lado, está conectado a un contexto real a través de prácticas de indagación científica y que, por

otro, es coherente, organizado y respaldado en ideas centrales de la disciplina, de modo que ese conocimiento esté accesible, sea útil y proporcione una base firme sobre la que puedan seguir construyendo nuevo conocimiento con entendimiento y aplicación (NRC, 2012).

Al considerar este acercamiento, fundamentado en la perspectiva que nos ofrece un contexto real para la educación en ciencias, se puede reconocer fácilmente que muchos de los temas más importantes en el campo de la ecología de plantas pueden entenderse mejor en términos de unas cuantas ideas principales, como por ejemplo, la relación entre plantas exóticas invasoras y plantas nativas en un ecosistema dado. Como parte de la red institucional de innovación educativa en la Universidad Veracruzana y en vinculación con la actividad de investigación, en la práctica docente se han seguido adoptando estrategias de aprendizaje basado en la indagación (López-Zamora, 2021; López-Zamora, 2022), y con ello también se ha logrado documentar la detección de algunas ideas clave aplicadas en prácticas de investigación científica mediante el análisis de casos ecológicos de invasión en sitios locales, con las cuales fue posible abordar a profundidad varias temáticas sobre invasión que fueron respaldadas y conectadas con estas ideas y con evidencias del trabajo de campo efectuado por los estudiantes en sus frecuentes visitas a los sitios monitoreados localmente (Tabla I).

Tabla I. Componentes del aprendizaje tridimensional aplicados a los contenidos educativos en un curso de ecología de plantas

1. Ideas centrales o clave en ecología de la invasión

1. Especies invasoras
2. Características ecológicas
3. Invasión biológica
4. Mecanismos de propagación
5. Estrategias de control y manejo integral

2. Actividades prácticas de aprendizaje científico

1. Planteamiento de hipótesis de trabajo
2. Planteamiento de preguntas de investigación
3. Planear y ejecutar investigaciones
4. Usar el pensamiento crítico
5. Desarrollar y usar modelos matemáticos
6. Analizar e interpretar datos
7. Construir explicaciones y argumentos de evidencias
8. Diseñar soluciones a problemas
9. Obtener, evaluar y comunicar la información (oral y escrita)

3. Conceptos interdisciplinarios

1. Diversidad biológica (función)
 2. Estructura y composición vegetal
 3. Descripción diagnóstica
 4. Competencia vegetal (modelos)
 5. Impactos naturales e intencionales (causa y efectos: mecanismo y explicación)
 6. Cambio climático (causa y efectos: modelos)
 7. Control y manejo integral
-

Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo de un entendimiento en conexión es posible; sin embargo, requiere invertir tiempo en la reestructuración de los planes y programas curriculares para poder apoyar a los estudiantes a hacer las conexiones necesarias en la construcción de un contexto coherente para su conocimiento (Pellegrino, 2013). Así también, se necesita realizar cambios en las actividades instruccionales y en cómo se evalúa el aprendizaje de estas, formativa y acumulativamente. Sabemos que el conocimiento solo no es suficiente para satisfacer las demandas de una actual sociedad tecnocientífica, que valora principalmente cómo se utiliza ese conocimiento, lo cual nos pone en la necesidad de redefinir el dominio de la ciencia.

Es imprescindible ayudar a los estudiantes a aprender a usar su conocimiento en formas diversas que reflejen el auténtico trabajo que se hace en la investigación. Esto se puede lograr a través del diseño instruccional y de la implementación de actividades de aprendizaje interactivas y de indagación científica que fomenten sus habilidades de investigación en escenarios reales (Entwistle, 1991; López-Zamora, 2017). Estas actividades prácticas pueden incluir el desarrollo y exploración de modelos para predecir y explicar diversos fenómenos biológicos, así como la construcción de sus propios argumentos basados en sus evidencias de campo, en combinación con otros elementos de carácter indagatorio como son el planteamiento de preguntas de investigación, la planeación, el diseño experimental y su ejecución, y el posterior análisis e interpretación de los datos (Mislevy, Almond y Lukas, 2004; Mislevy & Haertel, 2006). Bajo este contexto coherente, también es posible trabajar con la descripción de conceptos interdisciplinarios, ideas que trascienden múltiples disciplinas y que pueden contribuir a que los estudiantes establezcan con mayor facilidad las conexiones con otras disciplinas a lo largo de su formación.

Al combinar estos tres ejes (ideas centrales, actividades prácticas e indagatorias y conceptos interdisciplinarios) en la permanente innovación educativa que se lleva a cabo en esta práctica docente instruccional, se puede llegar a producir lo que se conoce como aprendizaje tridimensional (Cooper et al., 2017; Harris et al., 2017). En el presente trabajo, se hace un breve acercamiento para mejorar el desarrollo de actividades de aprendizaje indagatorio que promuevan el aprendizaje tridimensional y su evaluación práctica, discutiendo algunos aspectos que puedan evidenciar la mejora en la instrucción y su eficacia para el entendimiento de los estudiantes.

Desarrollando actividades indagatorias que demuestren un aprendizaje tridimensional

Con la finalidad de que los estudiantes sean capaces de construir un conocimiento robusto y en contexto real, debemos planear un mejor diseño instruccional para la elaboración de las actividades de aprendizaje, de modo que estas los conduzcan a conectarse con múltiples ideas (NRC, 2015). Sabemos que la preparación de actividades que solo se enfocan en una sola idea pueden pasar inadvertidas para ellos y además conducir a una fragmentación del conocimiento, aun a pesar de cualquier esfuerzo del profesor por conectar los contenidos del curso con planteamientos centrales. Es prioritario diseñar tareas de aprendizaje activo, con clara instrucción, viables de ejecutar en tiempo y en contextos reales, vinculadas a temáticas de interés local y global, de modo que despierten su motivación al llevarlas a cabo y que los conecten con su entorno inmediato (Freeman et al., 2014). De esta forma, se podría llegar a tener un panorama más completo del entendimiento del estudiante y se podría interpretar como una evidencia de que poseen el conocimiento y lo pueden aplicar adecuadamente, es decir, se estaría conociendo lo que los estudiantes conocen.

Afirmaciones sobre el aprendizaje de los estudiantes

Resulta de interés conocer cómo aprenden los estudiantes en un campo del saber y, por tanto, especificar el conocimiento y las habilidades para evaluar su competencia/desempeño. En nuestro caso, el interés se centra en un aprendizaje tridimensional que puede ser generado a través de la realización de diversas actividades de aprendizaje con indagación científica en contextos reales y en conexión con entornos naturales.

Las referidas actividades de aprendizaje están diseñadas con el respaldo de un modelo cognitivo que incluye elementos de base e interactivos, como la observación detallada, el razonamiento crítico y la interpretación de evidencias diversas. Mediante las observaciones realizadas a lo largo de la ejecución de las actividades, se recogen datos valiosos sobre lo que saben los estudiantes y lo que pueden hacer con ese conocimiento, lo cual en conjunto se

convierte en una evidencia cuando se interpreta en un contexto de un modelo de aprendizaje con aplicación real.

El diseño de estas actividades nos permite coleccionar información relevante acerca de las formas en que utilizan el conocimiento y cómo desarrollan su aprendizaje logrado, con el cual, a través del tiempo, los estudiantes pueden construir un entendimiento profundo al conectar ideas cuando han recibido el andamiaje adecuado (Wood, 2009). Por lo tanto, las actividades creadas para evaluar el progreso del estudiante con miras a la obtención de un aprendizaje tridimensional nos proporcionan prueba clara de las conexiones que ellos van estableciendo entre las ideas conforme van construyendo estructuras de conocimiento y utilizando dicho conocimiento en situaciones reales, lo cual refleja el auténtico trabajo de la ciencia.

Las actividades de aprendizaje indagatorio están diseñadas con la finalidad de que los estudiantes alcancen un entendimiento profundo con aplicación en su entorno inmediato y con ello ofrecen evidencia explícita de su progreso logrado, además de que respaldan la trayectoria de un aprendizaje tridimensional (Lavery et al., 2016). No se puede negar que el diseño de estas actividades demanda tiempo para su planeación, desarrollo e incluso en su aplicación in situ. No obstante, su adopción resulta fácil, se pueden adaptar al desarrollo de otras existentes y son prácticas de evaluar, ya que están enfocadas en la serie de evidencias que los estudiantes irán coleccionando y tratando de explicar, haciendo las conexiones adecuadas y dando sentido a sus propios descubrimientos.

Metodología

Para el diseño de las actividades de aprendizaje indagatorio que respalden un aprendizaje tridimensional, se tuvo en mente sobre todo apuntalar el resultado del aprendizaje deseado o el desempeño esperado. Esto implicó un proceso complejo de análisis de los contenidos educativos de un curso de ecología vegetal a ofertar, requiriendo también una descripción

clara de cada idea central y de los conceptos interdisciplinarios asociados a cada actividad práctica e indagatoria, aplicando en todo momento la observación, el razonamiento crítico y la interpretación (Windschitl et al., 2008). Posteriormente, se desarrollaron las actividades de aprendizaje y las rúbricas necesarias para su evaluación. Este proceso tomó tiempo; sin embargo, se tuvo oportunidad de adaptar algunas actividades prácticas y estrategias de evaluación aplicadas en cursos previos, lo cual resultó más sencillo en su alineación con el enfoque deseado de conectar al estudiante con un aprendizaje tridimensional.

Se tuvo como referente el trabajo anteriormente hecho en el diseño y modelo instruccional de actividades de aprendizaje basado en la indagación científica, durante la oferta de otros cursos de ciencia en vinculación con la investigación que se ha llevado a cabo en el campo de la ecología vegetal (López-Zamora, 2022). Este punto de referencia contribuyó en gran medida a la fácil planeación y adaptación de las actividades indagatorias enfocadas a alcanzar un aprendizaje tridimensional y facilitar su implementación dentro y fuera del aula (DeWitt & Storksdieck, 2008; Windschitl et al., 2008).

Se presenta aquí una muestra representativa de algunos formatos elaborados para una fácil instrucción y viable ejecución in situ de las actividades de aprendizaje a ser efectuadas por los estudiantes a lo largo del curso. Lo anterior, con la finalidad de documentar adecuadamente una práctica docente que logre reflejar el auténtico trabajo de investigación que ellos experimentan cuando el evento de aprendizaje se aborda de forma tridimensional y en un contexto de escenarios naturales que forman parte de su entorno inmediato (Tabla II).

La estructura de las sesiones sostenidas a lo largo del curso se apegó a los protocolos empleados en la investigación vinculada a esta actividad docente y enfocada a las especies de malezas más dominantes detectadas en los parques locales cercanos al campus universitario (Tabla II).

Tabla II. Segmentación de la estructura de una serie de sesiones y actividades de aprendizaje tridimensional indagatorio en un curso de ecología vegetal

Lugar, hora y fecha del evento de aprendizaje:

Nombre del estudiante(s):

Previo al evento de aprendizaje:

Cuestionario respondido por el profesor (08:30-9:00)

Sesión 1. “Reconocimiento de la presencia de malezas en el sitio natural”

Observaciones del profesor:

Actividades de aprendizaje:

- Registro de las condiciones físicas del sitio (descripción *in situ* y localización geográfica digital)

- Recorrido del sitio y mapeo digital de las plantas identificadas como malezas

- Observación y descripción diagnóstica e identificación de las malezas mapeadas

- Registro fotográfico de las malezas identificadas en el sitio

Resultados de los estudiantes: interpretación de sus evidencias

Retroalimentación del profesor:

Productos a generar: catálogo de campo de las malezas, video o presentación expuesta a manera de documental

Duración estimada: 5-6 horas

Análisis final del profesor

Sesión 2. “Colonización de las malezas en el sitio natural”

Observaciones del profesor:

Actividades de aprendizaje:

- Describir las principales características ecológicas observadas en las malezas identificadas en la sesión 1

- Detectar las colonias de invasión de las malezas identificadas previamente

- Mapear el número y extensión de las colonias de malezas más dominantes en el sitio

Resultados de los estudiantes: interpretación de sus evidencias

Retroalimentación del profesor:

Productos a generar: video documental y mapa digital de las colonias de invasión

Duración estimada: 2-3 horas

Análisis final del profesor

Sesión 3. “Detección de posibles impactos ecológicos de las malezas en el sitio natural”

Observaciones del profesor:

Actividades de aprendizaje:

- Registrar la densidad poblacional de las malezas más dominantes en el sitio

- Detectar cambios en las condiciones de vegetación y suelo en el sitio invadido

- Identificar el grado de avance en su invasión

- Proponer algunas acciones a corto plazo y estrategias a largo plazo encaminadas a

disminuir los impactos de invasión en el sitio

Resultados de los estudiantes: interpretación de sus evidencias y retroalimentación grupal

Retroalimentación del profesor:

Productos a generar: video documental, anuncio público por radio y póster

Duración estimada: 4 horas

Análisis final del profesor

Fuente: Elaboración propia.

Se utilizaron diversas técnicas de observación para obtener un registro de la ejecución de las actividades y el monitoreo in situ de las especies de malezas más dominantes a nivel local (Dillon et al., 2005). Estas observaciones resultaron esenciales, ya que permitieron recabar información de primera fuente en un contexto real, lo que permitió tener una percepción más clara de cómo interactúan los estudiantes y cómo se conducen en un ecosistema natural. Los datos reunidos sirvieron para el entendimiento reflexivo de sus opiniones acerca del evento de aprendizaje logrado y de algunos aspectos clave sobre las acciones que conlleva el trabajo de investigación en campo, para mejorar su aplicación y la réplica de este tipo de eventos de aprendizaje tridimensional con indagación en otros ámbitos.

Las rúbricas fueron elaboradas específicamente para la serie de actividades tridimensionales incluidas en cada sesión de invasión abordada a lo largo del curso. Su elaboración facilitó la visualización constructiva de las diferentes evidencias colectadas y de los descubrimientos hechos por los estudiantes en cada escenario natural explorado in situ (Tabla III).

Tabla III. Muestra representativa de una rúbrica para evaluar las actividades de aprendizaje tridimensional ejecutadas por los estudiantes en la sesión sobre “Detección de posibles impactos ecológicos de las malezas en el sitio natural”

Categoría	Nivel 1	Nivel 2		Nivel 3	Nivel 4
Conocimiento, entendimiento y aplicación- contenido temático específico adquirido y comprensión de su significado e importancia					
	El estudiante:				
Conocimiento del contenido (Especies de plantas invasoras en la región y sus impactos)	Demuestra conocimiento limitado del contenido	Demuestra un poco de conocimiento del contenido		Demuestra considerable conocimiento del contenido	Demuestra conocimiento a profundidad del contenido
Entendimiento del contenido (Identificación de los principales impactos sobre el ambiente, economía y sociedad causados por las plantas invasoras)	Demuestra entendimiento limitado del contenido	Demuestra un poco de entendimiento del contenido		Demuestra considerable entendimiento del contenido	Demuestra entendimiento a profundidad del contenido
Reflexión e investigación (El uso de habilidades de pensamiento crítico y creativo, y de indagación)	Demuestra limitada habilidad para abordar problemas, analizar e interpretar evidencias, resolver problemas, tomar decisiones viables y comunicar descubrimientos a diferentes audiencias	Demuestra muy poca habilidad para abordar problemas, analizar e interpretar evidencias, resolver problemas, tomar decisiones viables y comunicar descubrimientos a diferentes audiencias		Demuestra considerable habilidad para abordar problemas, analizar e interpretar evidencias, resolver problemas, tomar decisiones viables y comunicar descubrimientos a diferentes audiencias	Demuestra una gran habilidad para abordar problemas, analizar e interpretar evidencias, resolver problemas, tomar decisiones viables y comunicar descubrimientos a diferentes audiencias
	El estudiante:				

Uso de procesos de pensamiento crítico/creativo, habilidades y estrategias (Análisis adecuado de investigación para determinar el contenido apropiado para el anuncio público)	Usa procesos de pensamiento crítico/creativo, habilidades y estrategias con limitada efectividad	Usa procesos de pensamiento crítico/creativo, habilidades y estrategias con cierta efectividad		Usa procesos de pensamiento crítico/creativo, habilidades y estrategias con considerable efectividad	Usa procesos de pensamiento crítico/creativo, habilidades y estrategias con un alto grado de efectividad
Comunicación (Difusión y expresión de información y significado en diversas formas)	Comunica información diversa con limitada efectividad	Comunica información diversa con cierta efectividad		Comunica información diversa con considerable efectividad	Comunica información diversa con alto grado de efectividad
	El Estudiante:				
Expresión y organización de ideas e información en forma oral, visual o escrita (Diseño de un anuncio público y pertinencia para la audiencia elegida)	Expresa y organiza ideas e información con limitada efectividad	Expresa y organiza ideas e información con cierta efectividad		Expresa y organiza ideas e información con considerable efectividad	Expresa y organiza ideas e información con alto grado de efectividad
Aplicación (Uso del conocimiento y habilidades para conectar con varios contextos)	Aplica el conocimiento en diferentes contextos con limitada efectividad	Aplica el conocimiento en diferentes contextos con cierta efectividad		Aplica el conocimiento en diferentes contextos con considerable efectividad	Aplica el conocimiento en diferentes contextos con alto grado de efectividad
	El estudiante:				
Propuesta de acciones prácticas para abordar problemas relacionados con ciencia, tecnología, sociedad y el medio ambiente (Creación e incorporación de una adecuada	Propone acciones prácticas de limitada efectividad	Propone acciones prácticas de cierta efectividad		Propone acciones prácticas de considerable efectividad	Propone acciones prácticas muy efectivas

alerta para la acción pública)					
--------------------------------	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Las actividades de aprendizaje que se incorporaron en el curso se centraron en las evidencias y, por tanto, se enfocaron en la conexión del estudiante con el aprendizaje tridimensional. Estas se construyeron para recabar información sobre la habilidad de los alumnos para aplicar las ideas centrales en la ejecución de actividades prácticas de indagación científica y el uso de conceptos interdisciplinarios. Su diseño, sin duda, fue característico en torno al campo de la ecología de plantas y tuvieron potencial para desarrollar competencias en los estudiantes, así como para su fácil vinculación con las ideas clave, las prácticas científicas y los conceptos asociados a otras disciplinas de las ciencias.

Los estudiantes lograron ir más allá de predecir el resultado principal del impacto de una invasión sobre la vegetación nativa local y alcanzaron un entendimiento profundo del fenómeno biológico, además de que pudieron proporcionar la causa fundamental y el mecanismo de respuesta del sistema invadido. Este desempeño esperado queda ilustrado con el planteamiento del siguiente ejemplo: “Explica por qué la presencia de una perturbación natural o intencional en un sistema invadido puede influir en su estado y predice el efecto de dicha perturbación sobre la vegetación” (Tabla IV). Con esta sencilla implementación en la

actividad de aprendizaje, fue posible generar la presente información, lo cual se alinea naturalmente con la práctica de indagación científica para construir explicaciones y argumentos a partir de auténticas evidencias y con el uso de los conceptos de diversidad biológica y disturbios naturales e intencionales.

Se elaboraron rúbricas específicas para la serie de actividades tridimensionales incluidas en cada sesión de invasión abordada a lo largo del curso. Su elaboración facilitó la visualización constructiva de las diferentes evidencias colectadas y de los descubrimientos hechos por los estudiantes en cada escenario natural explorado in situ (Tabla III).

Tabla IV. Alineación de una actividad de indagación para involucrar los componentes del aprendizaje tridimensional en un curso de ecología vegetal

Lugar, hora y fecha del evento de aprendizaje:

Nombre del estudiante:

Sesión 3. “Detección de posibles impactos ecológicos de las malezas en el sitio natural”

Pregunta original: Determina los impactos de la invasión a nivel ecológico en el sistema bajo monitoreo.

Pregunta revisada, con andamiaje y opción de respuestas construidas: Considera el escenario de un sitio natural a nivel local explorado y sujeto a un monitoreo para la detección temprana de su invasión:

1. ¿Detectas la presencia de algún tipo de perturbación? ¿Cuál es? (*se cubre el componente de las **prácticas científicas** y uso de **conceptos interdisciplinarios***).
2. ¿Detectas cambios en las condiciones de vegetación y del suelo en el sitio invadido? Elabora. (*se cubre el componente de los **conceptos interdisciplinarios: estructura y composición vegetal***).
3. ¿Por qué crees que ocurrió la invasión en ese sitio? (*se cubre el componente de las **prácticas científicas: la construcción de explicaciones y argumentos derivados de evidencias en campo y de los conceptos interdisciplinarios: causa y efecto***).
4. ¿Qué impacto tendrá sobre el sitio y sus componentes bióticos a lo largo del tiempo? (*se cubre el componente de los **conceptos interdisciplinarios: causa y efecto***).
5. ¿Cuál será el mecanismo de respuesta del sistema sujeto a la invasión? (*se cubre el componente de los **conceptos interdisciplinarios: mecanismo y explicación***).
6. ¿Qué acciones podrías sugerir para tratar de controlar la invasión y aminorar sus efectos sobre el sitio? (*se cubre el componente de las **prácticas científicas: pensamiento crítico, análisis e interpretación de datos, uso de ideas clave y conceptos interdisciplinarios: estrategias de control y manejo integral***).

Retroalimentación del profesor:

Productos a generar: video documental, anuncio público por radio y póster

Duración estimada: dos sesiones en campo (4-6 horas), una sesión en aula (2 horas)

Análisis final del profesor:

Fuente: Elaboración propia.

Las actividades de aprendizaje indagatorio que fueron aplicadas a lo largo del curso estuvieron bien alineadas con los componentes del aprendizaje tridimensional, como se puede apreciar en la Tabla IV. Se logró con cada ejecución que los estudiantes aplicaran su entendimiento sobre el fenómeno de invasión biológica en conexión con un entorno local, lo cual contribuyó a motivar su participación en el campo.

Con el objeto de alcanzar un aprendizaje tridimensional en cada actividad, se llegó a reconocer que el diseño de una sola pregunta no resulta suficiente para proporcionar la evidencia que buscamos acerca del entendimiento de los estudiantes. Por tanto, fue necesario formular una serie de preguntas con andamiaje que generaron respuestas elaboradas, reforzadas con explicaciones a partir de las evidencias observadas, colectadas, exploradas y descubiertas en escenarios reales vinculados con su entorno inmediato.

El planteamiento de preguntas revisadas, con andamiaje, y las respuestas generadas permitieron abordar prácticas científicas de construcción de explicaciones y argumentos derivados de sus hallazgos en campo. Con ello se cubrieron importantes componentes del aprendizaje tridimensional, las evidencias (en forma de datos u observaciones en campo) y el razonamiento crítico.

La agrupación de preguntas con andamiaje ofreció diversos criterios alineados con el aprendizaje tridimensional, como son: a) conduce a la observación de un evento o fenómeno biológico en contexto real y vinculado a la comunidad local; b) solicita al estudiante realizar una afirmación basada en el evento o fenómeno biológico observado; c) solicita al estudiante que proporcione una evidencia científica en forma de datos colectados y observaciones registradas en el sitio para respaldar dicha afirmación; y d) solicita al estudiante que proporcione una argumentación de por qué la evidencia científica respalda dicha afirmación.

Las rúbricas creadas particularmente para estas actividades tridimensionales permitieron visualizar de forma constructiva las diferentes respuestas de los estudiantes, con lo que se obtuvo una fuente fructífera de evidencias sólidas de su conocimiento y su aplicación inmediata en escenarios naturales.

Discusión

Construyendo explicaciones a partir de evidencias

Las expectativas de un desempeño tridimensional fueron alcanzadas, cubriendo en primer término los objetivos de aprendizaje típicamente asociados con el estudio de la ecología de la invasión, los cuales requieren que los estudiantes sean capaces de predecir el resultado de diversos impactos provocados por la invasión sobre la vegetación nativa. Aunado a ello, se logró conectar explícitamente los objetivos de aprendizaje con las ideas centrales, y de esta forma se consiguió que el estudiante se involucrara en la práctica de indagación científica, además de que se abrió la oportunidad para que mostraran cómo aplicaban las ideas centrales en conexión directa con su entorno natural.

Dentro de cada actividad de aprendizaje, la serie de preguntas revisadas, con andamiaje y de respuestas construidas, abordaron no solo la pregunta original sobre qué impactos ocurren en un ecosistema dado, sino que también permitió recabar información sobre qué sucede en ese sistema invadido sujeto a impactos, por qué ocurren dichos impactos y cómo se puede aminorar su efecto sobre el ecosistema a través de la propuesta de acciones de control y manejo muy concretas y fáciles de adoptar localmente (Lemons & Lemons, 2013). De esta manera, se obtiene mayor estructura en sus respuestas, más que una descripción, y se puede conseguir su entendimiento del evento biológico explorado.

Por lo tanto, con cada actividad se debe alcanzar un balance entre proporcionar un adecuado andamiaje para conectar a los estudiantes con la práctica científica de la construcción de explicaciones y argumentos derivados de sus propias evidencias y alcanzar efectivamente su conocimiento y razonamiento crítico (Torrance, 2012). Con lo anterior, se recaba información orientada de los estudiantes, se aborda un aprendizaje tridimensional y se cumplen los principales criterios descritos previamente en la Tabla IV, la idea central de

especies invasoras y características ecológicas en el proceso de invasión biológica, las prácticas de indagación científica de la construcción de explicaciones y argumentos derivados de las evidencias observadas, exploradas y colectadas en campo, y la aplicación de los conceptos interdisciplinarios de estructura y composición vegetal, causa y efecto de impactos de invasión, mecanismo de invasión y control, y su explicación (Mislevy et al., 2004).

Algunas implicaciones de las actividades de aprendizaje tridimensional para su diseño instruccional

Esta serie de actividades de aprendizaje ya se utiliza en la oferta de un curso de ecología vegetal en nuestra institución educativa. Se ha venido aplicando una combinación de actividades de carácter indagatorio con preguntas revisadas y adecuado andamiaje que generan respuestas estructuradas, usando evidencias como guías para el desarrollo de rúbricas analíticas correspondientes. Para su aplicación a lo largo del curso, el programa y diseño educativo de dicho curso tiene que ser revisado y ajustado para lograr conectar de forma explícita los contenidos educativos y los objetivos de aprendizaje con las ideas centrales, y poder ayudar a que los estudiantes construyan el contexto real requerido, a fin de hacer sólido y utilizable su conocimiento.

La combinación de la actividad docente con los componentes del aprendizaje tridimensional en cada una de las actividades ejecutadas a lo largo del curso proporciona una percepción más rica dentro de la instrucción durante una sesión de clase dada. Esto nos revela a detalle los temas y los casos de invasión abordados en la instrucción, cómo se impartió la sesión de clase (en aula e in situ), cómo se conectaron los estudiantes con los componentes del aprendizaje y cómo se facilitó esta conexión. Con lo anterior, se demuestra mejor la validez y credibilidad en la adopción de actividades de aprendizaje tridimensional en contextos reales (Underwood et al., 2018).

La puesta en práctica de estas actividades también demanda la participación dinámica del estudiante, que se espera proporcione respuestas construidas, es decir, tridimensionales. Al conectar fragmentos de su conocimiento con las ideas centrales y demostrar que pueden usar este conocimiento en un contexto real y no simplemente recordarlo, claramente conduce a los alumnos a ejercitar las prácticas científicas, para lo cual es necesario el empleo de adecuado andamiaje y retroalimentación por parte del profesor (Wood, 2009).

Conclusión

Se desarrollaron actividades de aprendizaje tridimensional e indagatorias que tuvieron el potencial para conseguir evidencia suficiente de un aprendizaje tridimensional y de lo que pueden hacer los estudiantes con su conocimiento sobre las ciencias biológicas. Estas actividades se desarrollaron esencialmente para fortalecer el esfuerzo de una auténtica transformación en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, bajo un modelo educativo flexible e innovador, enfocado en el acercamiento de un aprendizaje tridimensional a los cursos de formación en ciencias.

Considerando que la implementación de estas actividades de aprendizaje va a cambiar a través del tiempo, se tiene la intención de evaluar permanentemente su exitosa aplicación en la oferta del curso para los siguientes periodos educativos y en futuras publicaciones. Asimismo, se ha presentado evidencia suficiente sobre la adecuada utilidad, validez y confiabilidad de su adopción en el curso impartido, cuando se aplicó nuestra serie de datos de la práctica docente.

Si bien las actividades de aprendizaje fueron mejoradas y adaptadas para acercarlas a un aprendizaje tridimensional pensando en un curso de ecología vegetal, estas podrían fácilmente ser usadas en (o adaptadas para) otros cursos o disciplinas con contenidos educativos afines, o en otros cursos de ciencias. Al incluir algunas muestras que ejemplifican

la estructura tridimensional de las actividades de aprendizaje brindadas en el curso de ecología vegetal e información sobre la caracterización de su fácil transformación, se anima a otros docentes a darse la oportunidad de utilizarlas, con la finalidad de caracterizar y mejorar o bien para desarrollar sus propias actividades de aprendizaje tridimensional.

Futuras líneas de investigación

Se tiene el interés de continuar documentando el diseño, mejora y aplicación de nuevas actividades de aprendizaje indagatorias para ser incorporadas en el curso, cuyo enfoque permita que los estudiantes se conecten y logren una experiencia de aprendizaje tridimensional que les genere habilidades para desarrollar investigación de calidad en cualquier ámbito de la ciencia.

Con fundamento en la documentación permanente, se pretende poner en marcha esta metodología tridimensional en futuras ofertas educativas de cursos de formación en las ciencias biológicas y dar cobertura a la investigación de algunos aspectos sobre la visión y entendimiento del aprendizaje de las ciencias biológicas en los estudiantes, con un enfoque tridimensional.

Referencias

- Cooper, M. M., Posey, L. A. & Underwood, S. M. (2017). Core Ideas and Topics: Building Up or Drilling Down? *Journal of Chemical Education*, 94(5), 541-548.
- DeWitt, J. & Storksdieck, M. (2008). A short review of school field trips: Key findings from the past and implications for the future. *Visitor Studies*, 11(2), 181-197.
- Dillon, J., Morris, M., O'Donnell, L, Reid, A., Rickinson, M. & Scott, W. (2005). *Engaging and learning with the outdoors-the final report of the outdoor classroom in a rural context action research Project*. National Foundation for Educational Research.
- Entwistle, N. J. (1991). Approaches to Learning and Perceptions of the Learning Environment. *Higher Education*, 22(3), 201-204.
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H. & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415.
- Harris, C. J., Krajcik, J. S., Pellegrino, J. W., McElhaney, K. W., DeBarger, A. H., DiBello, L. V., Gane, B. & Lee, J. (2016). Constructing assessment tasks that blend disciplinary core ideas, crosscutting concepts, and science practices for classroom formative applications. SRI International: Menlo Park, CA. Recuperada de https://www.sri.com/wp-content/uploads/2021/12/constructing_assessment_tasks_2016.pdf
- Laverty, J. T., Underwood, S. M., Matz, R. L., Posey, L. A., Carmel, J. H., Caballero, M. D., Fata-Hartley, C. L., Ebert-May, D., Jardeleza, S. E. & Cooper, M. M. (2016). Characterizing College Science Assessments: The Three-Dimensional Learning Assessment Protocol. *The Public library of Science*, 11(9), e0162333.

- Lemons, P. P. & Lemons, J. D. (2013). Questions for assessing higher-order cognitive skills: It's not just Bloom's. *CBE-Life Science Education*, 12(1), 47-58. doi: [10.1187/cbe.12-03-0024](https://doi.org/10.1187/cbe.12-03-0024) PMID: [23463228](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23463228/)
- López-Zamora, I. (2017). Usando los ambientes naturales para el aprendizaje. En M. E. Ramírez Lara y F. Santillán Campos (eds.), *Usos e Impactos de la investigación educativa* (pp. 165-176). Editorial Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente (CENID).
- López-Zamora, I. (2021). Casos basados en campo: una experiencia de aprendizaje activo. *CTES. Revista sobre tecnología, educación y sociedad*, 8(15), 1-19.
- López-Zamora, I. (2022). Investigando a las malezas: una forma de aprender con la indagación. *CTES. Revista sobre tecnología, educación y sociedad*, 8(17), 1-16.
- Mislevy, R. J., Almond, R. G. & Lukas, J. F. (2004). A brief introduction to evidence-centered design. *CSE Report*, 632. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED483399.pdf>
- Mislevy, R. J. & Haertel, G. D. (2006). Implications of evidence-centered design for educational testing. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 25(4), 6-20.
- National Research Council (NRC). (2012). *A Framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academies Press.
- National Research Council (NRC). (2015). *Reaching students: what research says about effective instruction in undergraduate science and engineering*. Washington, DC: National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18687>.
- Pellegrino, J. W. (2013). Proficiency in science: assessment, challenges and opportunities. *Science*, 340(6130), 320-323.
- Torrance, H. (2012). Formative assessment at the crossroads: conformance, deformative and transformative assessment. *Oxford Review of Education*, 38(3), 323-342.

Underwood, S. M., Posey, L. A., Herrington, D. G., Carmel, J. H. & Cooper, M. M. (2018).

Adapting assessment tasks to support three-dimensional learning. *Journal of Chemical Education*, 95(2), 207-217.

Windschitl, M., Thompson, J. & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-

based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941-67.

Wood, W. B. (2009). Innovations in teaching undergraduate biology and why we need them.

Annual Review of Cell Developmental Biology, 25, 93-112.

doi:[10.1146/annurev.cellbio.24.110707.175306](https://doi.org/10.1146/annurev.cellbio.24.110707.175306) PMID: [19575638](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19575638/)