

VALIDACIÓN DE UN MODELO DE EDUCACIÓN AMBIENTAL BASADA EN LA COMPLEJIDAD

MARÍA CLAUDIA SOLARTE ECHEVERRI / AIDA HUERTA BARRIENTOS /

CARLOS AUGUSTO OSORIO MARULANDA / ORLANDO ZÚÑIGA ESCOBAR

Resumen:

Este artículo presenta la validación de un modelo de educación ambiental desde la teoría de la complejidad, cuyo propósito es contribuir a superar una visión reducida y fragmentada del ambiente en las prácticas de enseñanza. El modelo fue implementado en un curso y validado mediante la metodología de lógica difusa. El proceso inició con el diseño de un instrumento cuyas preguntas podían evaluar cualquier curso con el componente de formación ambiental, indagaban sobre las competencias y habilidades adquiridas por el estudiantado, así como algunos contenidos sobre las dinámicas del ambiente. Los resultados de la validación tuvieron diferencias sustanciales frente a otros dos cursos con los que fueron contrastados, además, permitieron analizar las dificultades y aciertos del estudiantado en el proceso enseñanza-aprendizaje.

Abstract:

This article introduces the validation of an environmental education model based on complexity theory, whose purpose is to contribute to overcome a reduced and fragmented vision of the environment in teaching practices. The model was implemented during a course and validated by means of the fuzzy logic methodology. The process initiated with the design of an instrument consisting of questions that could evaluate any course with an environmental education component and inquired about the competencies and skills acquired by the students, as well as about some contents related to the dynamics of the environment. The results of the validation showed substantial differences with respect to two other courses with which they were compared, and also allowed to analyze the problems and achievements of the students throughout the teaching-learning process.

Palabras clave: educación ambiental; formación de profesores; innovaciones pedagógicas; evaluación de modelos; teorías del pensamiento.

Keywords: environmental education; teacher training; pedagogical innovations; evaluation of models; theories of thought.

María Claudia Solarte Echeverri: docente de la Universidad del Valle, Facultad de Educación, e investigadora del Grupo de Investigación Ilama. Cali, Colombia. CE: maria.claudia.solarte@correounivalle.edu.co / <https://orcid.org/0000-0003-1045-3073>

Aida Huerta-Barrientos: profesora de la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Ciudad de México, México. CE: aida.huerta@comunidad.unam.mx / <https://orcid.org/0000-0002-0570-5048>

Carlos Augusto Osorio Marulanda: docente de la Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería Industrial, e investigador del Grupo de Investigación en Logística y Producción. Cali, Colombia. CE: carlos.osorio@correounivalle.edu.co / <https://orcid.org/0000-0002-0577-0712>

Orlando Zúñiga Escobar: docente de la Universidad del Valle, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, director del Grupo de Investigación Ilama. Cali, Colombia. CE: orlando.zuniga@correounivalle.edu.co / <https://orcid.org/0000-0003-4434-8597>

Introducción

La universidad desempeña un papel muy importante en la formación de profesores en educación ambiental, pues se requiere una transformación social en las comunidades a partir de procesos de educación ciudadana, de trabajos reflexivos desde su papel crucial para la integralidad del ambiente y del mundo a partir de un pensamiento complejo (Duarte Díaz y Valbuena Ussa, 2014).

La universidad debe asumir su responsabilidad social en la formación de las y los docentes¹ (Martín-Molero, 1998), quienes son los directos responsables de educar al estudiantado de los niveles de educación básica: primaria y secundaria. Sin embargo, en las prácticas que desarrollan los maestros se advierten muchos problemas, los modelos que implementan son activistas, sin objetivos claros y se promueven prácticas que no conducen a construir conocimientos, a hacer investigación (Torres Carrasco, 2012). La formación docente se ha configurado desde una visión reduccionista y unidireccional con “tipologías, como conservacionista, desarrollista, proteccionista y ambientalista” (Álvarez, 2004, citado en Duarte Díaz, y Valbuena Ussa, 2014:32).

En la formación inicial de los profesionales predominan las concepciones de lo ambiental ligado con lo “verde”, pues se considera que cuando se enseña ecología, se está aprendiendo educación ambiental, pero el ambiente no es un tema, sino una realidad cotidiana y vital, un proyecto de desarrollo humano que no se reduce a educar para “conservar la naturaleza”, “concienciar personas” o “cambiar conductas” (Vega Marcote y Álvarez Suárez, 2005; Sauvé, 2004; García, 2004a). Pero la tarea es más profunda y comprometida, está asociada con el cambio social, es un acto político que cuestiona el modelo de la civilización actual, caracterizado por la sobreproducción y el consumismo; se requiere una “toma de conciencia que se oriente hacia un desarrollo humano” (Vega Marcote y  lvarez Suárez, 2005).

La alternativa es trabajar en un modelo de educación ambiental que permita comprender diversas situaciones al respecto de forma integral, y contribuir así a la formación de futuros profesores. Sin embargo, esta propuesta debe ser validada para establecer los ajustes pertinentes. Es necesario preguntarnos cómo validar un modelo de educación ambiental a partir de la teoría de la complejidad.

La propuesta plantea la fundamentación del modelo, su implementación y validación, procesos que fueron realizados mediante la lógica

difusa, que puede ser considerada para evaluar enfoques de complejidad, en la medida en que valora la epistemología pedagógica, la teoría de la educación y los fenómenos que son de su competencia (Ballester Brage y Colom Cañellas, 2006).

El modelo de Educación Ambiental desde la Complejidad fue creado en un curso que se ofreció a estudiantes de la licenciatura de Ciencias Naturales y Educación Ambiental de la Universidad del Valle, en Cali, Colombia, cuyo propósito fue fundamentar la educación ambiental desde la complejidad para tener una visión integral y lograr la comprensión de esta realidad mediante una propuesta de enseñanza-aprendizaje a través de la investigación.

En la propuesta del curso se integró el conocimiento científico, tecnológico y la formación humana; los contenidos se articularon a los principios del modelo de complejidad y, a la vez, al reconocimiento de las características del territorio desde lo ecosistémico, lo sociocultural y la formación ciudadana.

La validación de esta propuesta se hizo mediante un instrumento de evaluación que se construyó con preguntas de juicios intermedios, propios de la metodología de lógica difusa. Esta se utiliza para evaluar sistemas complejos y ha generado una renovación en los procesos de evaluación porque da cuenta de eventos indeterminados y de hipercomplejidad, en tanto analiza situaciones que la lógica clásica no cubre (Ballester Brage y Colom Cañellas, 2006; Colom Cañellas y Ballester Brage, 2020).

Las preguntas del cuestionario diseñado pretendían medir el aprendizaje logrado por los estudiantes respecto de las competencias, las habilidades y algunos contenidos básicos del componente ambiental.

En este sentido, el modelo construido se validó contrastándolo con otros dos cursos. El primero fue Fundamentos de la Educación Ambiental, que es parte del programa de la licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental; se imparte en cuarto semestre y su propósito es identificar los fundamentos de la educación ambiental, advirtiendo la aplicabilidad teórico-práctica que tienen en el contexto educativo local, mediante la exploración de los vínculos entre lo político, biológico, social, económico, cultural y simbólico que los estudiantes establecen con su territorio. Este curso fue seleccionado porque forma parte del componente de formación ambiental, de carácter obligatorio, de la licenciatura referida y cuyos contenidos se abordan en tres ejes: fundamentos históricos de la educación ambiental, rol

del educador ambiental y lineamientos básicos para propuestas de educación ambiental, que brindan los fundamentos teóricos para la formación de los futuros profesores en este campo.

El segundo curso fue Humanitas, Ciencia, Agricultura y Clima, que forma parte de la política de formación de la Universidad del Valle y es ofrecido a estudiantes de todos los programas; su propósito es presentar fundamentos científicos y herramientas tecnológicas relacionados con el ambiente, con el fin de impactar a la sociedad a través de un enfoque humanístico en el desarrollo de la persona. Los contenidos de este curso se centran en tres componentes: científico en sistemas naturales, tecnológico y *humanitas* o formación ética de la persona. El criterio de selección de este curso fue por sus semejanzas en los fundamentos teóricos respecto del componente del conocimiento ambiental y por los propósitos de formación ética, características que coinciden con los objetivos del curso de Educación Ambiental desde la Complejidad.

Posteriormente se aplicó el cuestionario a los estudiantes de los tres cursos y los resultados evidenciaron que en el modelo propuesto presentaron resultados muy acordes con sus aprendizajes, mientras que los de los otros dos tuvieron una dispersión en los datos, lo que significa que sus conocimientos en temas ambientales fueron diversos y no lograron comprender esta realidad como un todo.

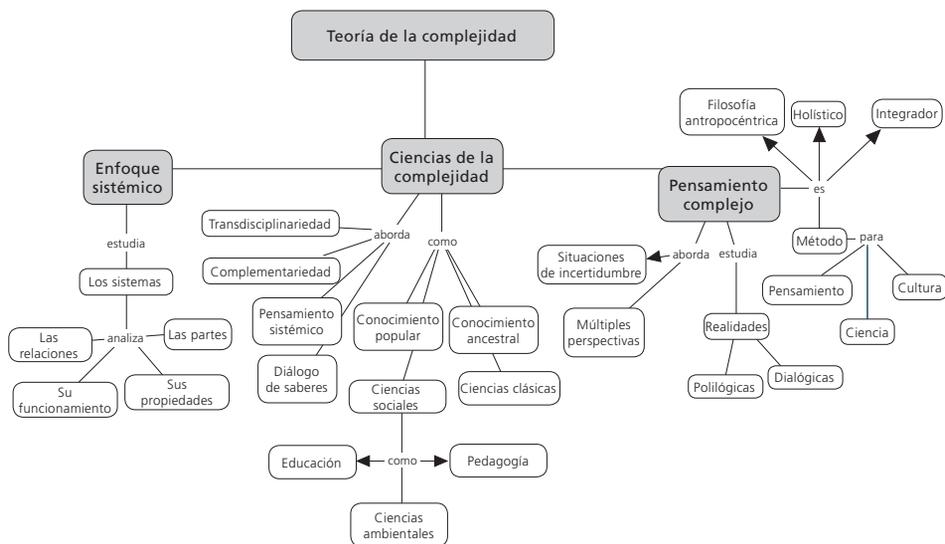
Marco teórico

La educación ambiental desde la complejidad abre el camino del reduccionismo mediante un desarrollo epistemológico y ontológico desde una perspectiva transformadora (Calafell Subirà y Banqué Martínez, 2017). La complejidad propuesta por Morin integra saberes, prácticas, disciplinas y diversas relaciones, convirtiéndose en un campo de investigación frente a una propuesta de educación ambiental que responda a los propósitos que esta demanda. Este enfoque tiene muchos retos, entre ellos la formación ciudadana de los educandos a partir de las buenas relaciones sociales en contextos culturales diversos, con respeto por las diferencias de pensamiento, promoviendo la formación de valores y la participación social.

Esta tarea requiere comprender que la teoría de la complejidad, que es una filosofía sustentada en bases científicas, merece ser estudiada cuando está inmersa en procesos educativos, donde la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación son considerados procesos complejos (Hernández Nodarse y

Aguilar Esteban, 2008). En tal sentido, es importante ampliar la concepción de la complejidad desde un enfoque sistémico, desde las ciencias de la complejidad y del pensamiento complejo, componentes que se conjugan para dar sustento al diseño de un modelo de educación ambiental desde esta teoría (figura 1).

FIGURA 1
Componentes de la teoría de la complejidad contextualizados en educación ambiental



Fuente: elaboración propia, producto de la investigación.

El modelo pedagógico representado en la figura 1 muestra las relaciones que se tejen respecto de la teoría de la complejidad, que se fundamenta desde el pensamiento complejo, en el marco de Edgar Morin, considerado como un método donde se conjugan las ciencias, el conocimiento y las culturas. Tal pensamiento requiere cambiar la mirada hacia el mundo para entenderlo como realmente es y “pensar de manera conjunta las realidades dialógicas/polilógicas entretejidas íntimamente” (Morin (1980:323, citado en Juárez y Comboni Salinas, 2012), es la forma más popular en el sentido sociológico demográfico y estadístico de complejidad.

Este método refiere a la manera de abordar situaciones y fenómenos complejos, considerando diversas relaciones sistémicas y situaciones de

incertidumbre, lo que da cuenta de principios de organización dialógica, de recursividad y autoorganización y borrosidad (Severo Arce Rojas, 2021). Su pensamiento es holístico e integrador, supera la teoría de considerar que el todo es la suma de las partes; estudia un sistema desde su totalidad y las interconexiones entre las partes, a partir de la transdisciplinariedad, analizando cómo evolucionan y se transforman con el tiempo a partir de retroalimentaciones para tener resultados emergentes (Morin, 2008; Morin, 2011).

Por otra parte, se requiere de las ciencias de la complejidad, que soportan sus fundamentos en las ciencias de los sistemas complejos para producir conocimiento científico, dado que es otra manera de entender la ciencia (Luengo-González, 2018); se estudia la autoorganización, la autopoiesis, la no linealidad, el caos, el desorden, el azar, el no equilibrio, la emergencia que hacen parte de la realidad; es una forma diferente de hacer ciencia desde diversas disciplinas, que se representan con modelos basados en agentes (Luengo-González, 2018), originando los llamados emergentes a partir de entidades complejas (Reynoso, 2006).

Contextualizando lo anterior, las ciencias de la complejidad también abordan el campo de la educación, porque integran, entre otras, las ciencias sociales y naturales, así como diversas disciplinas como la pedagogía o las ciencias ambientales. De esta manera, estas se incorporan a partir de un modelo pedagógico desde el conocimiento de la complejidad social, donde se incluye la autoorganización a nivel individual, y desde lo individual a lo grupal (Velázquez-Guzmán y Lara-Rosano, 2017).

El proceso educativo se efectúa en diferentes sistemas sociales, debe ser dinámico, de investigación, no lineal y con un sentido teleológico capaz de adaptarse en estructuras complejas (Lara, 2017); se requiere una educación ambiental que trascienda desde el pensamiento simple al complejo (Watanabe, Calafell Subirà y Rodríguez Marín, 2022; García, 2004b; Morin, 2008).

En este sentido, el enfoque pedagógico del modelo de educación ambiental basado en la complejidad contó con fundamentos teóricos que fueron implementados en el curso, sustentados desde tres principios: la no linealidad, la incertidumbre y la complementariedad:

- *Principio de la no linealidad:* los sistemas ambientales no siguen patrones de causa y efecto lineales, sus dinámicas son diversas y com-

plejas, requieren otras racionalidades de las ciencias, en sus sistemas se dan intercambios por medio de acciones que generan productos logrando la generación y regeneración (Morin, 1999).

- *Principio de la incertidumbre*: su fundamento se aplica hacia la formación de la persona que en este caso es quien se educa y, por las características de diversidad, se considera que la formación humana es indefinible por las maneras de comprender y apropiarse del conocimiento, además de las diversas potencialidades con las que cuenta una persona (Blanco y Pirela, 2016).

En este contexto, no es sencillo definir las relaciones y experiencias humanas respecto de lo social y lo cultural, la realidad tiene opuestos como “sujeto/objeto, alma/cuerpo, calidad/cantidad, sentimiento/razón” (Morin 1999, en Acevedo Almonacid, Aravena-Reyes, Aguilar Molina y Azevedo Junior, 2005:7; Boff, 2011).

- *Principio de la complementariedad*: las situaciones ambientales y sus realidades cuentan con aspectos sociales, económicos, culturales, políticos y ecológicos, lo que requiere un pensamiento sistémico a partir de procesos transdisciplinarios del conocimiento de las ciencias de la complejidad y las cognitivas, así como el diálogo de saberes de expertos y de la comunidad, lo que daría origen a una nueva epistemología (Acevedo *et al.*, 2005), integrando así los conocimientos y procesos de manera efectiva.

Estos principios se representaron en el modelo de educación ambiental a partir de los componentes de la teoría de la complejidad y de los elementos que configuraron la práctica que se propuso para el sistema de enseñanza, que rompió con el esquema unidireccional, donde el profesor es experto, el estudiante aprende de forma receptiva, el conocimiento que se construye es dirigido por el docente, el aula es un espacio físico y la evaluación es la verificación de lo aprendido desde datos precisos.

La implementación del modelo de educación ambiental desde la complejidad se realizó mediante la metodología de enseñanza-aprendizaje a través de investigación, a partir de la resolución de problemas identificados en el contexto escolar.

La didáctica de resolución de problemas contribuyó al desarrollo de competencias científicas y ciudadanas a partir de búsqueda de respuestas, de interrogantes que los estudiantes se plantearon sobre la pregunta que

orientó el curso: ¿Qué características ambientales se dan en el territorio del campus de la Universidad del Valle?

Esta metodología permitió que el docente y los estudiantes pudieran construir conocimiento científico, tecnológico y práctico, los contenidos surgieron a partir de las preguntas que debían resolver, el profesor orientó el proceso de enseñanza, pero se apoyó en los aportes de expertos y de invitados de la comunidad que contribuyeron a entender la realidad desde diferentes miradas y experiencias.

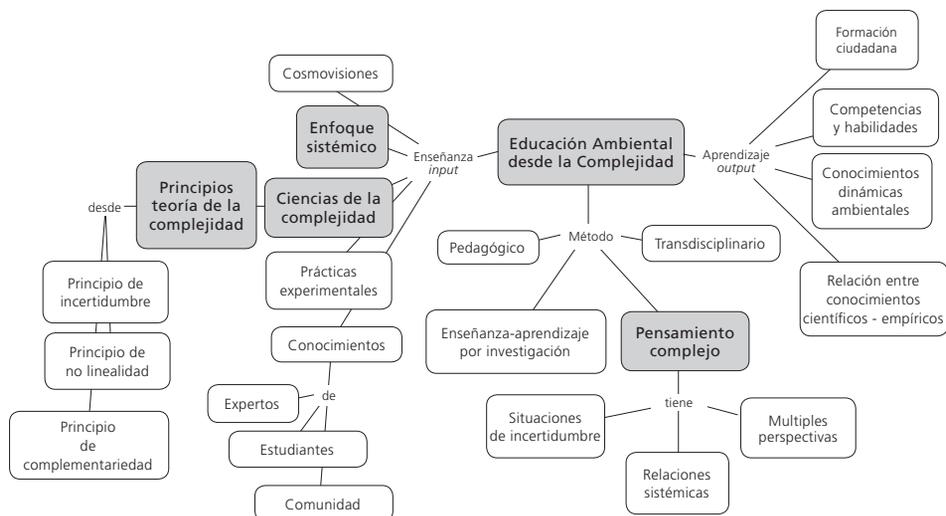
Es así como el conocimiento que se construye es un proceso de complementariedad, el aula no es un espacio físico, pues se aprende de las interacciones con diferentes actores que participan en calidad de invitados al aula o de visitas que los estudiantes y el profesor realizan para aprender desde diferentes dinámicas.

La didáctica propuesta para desarrollar el modelo de educación ambiental desde la complejidad requiere que el docente busque diversas relaciones desde un enfoque sistémico, debe orientar las actividades desde un pensamiento complejo y recurrir a los conocimientos que ofrezcan las diversas ciencias de la complejidad donde están comprometidos los principios propuestos para este modelo.

La figura 2 ilustra la propuesta del modelo de educación ambiental basado en la teoría de la complejidad, donde se muestran los principios, el enfoque sistémico y las ciencias de la complejidad requeridos como insumos para el proceso de la enseñanza que deben ser los conocimientos que el profesor debe orientar; para este caso, sería “el *input*” o entrada, acompañada de una metodología de enseñanza-aprendizaje a través de investigación, que permite desarrollar todas las dinámicas pedagógicas propias de la teoría de la complejidad con el propósito de lograr aprendizajes de construcción de conocimiento, desarrollo de habilidades y formación de cultura; para este caso, esos productos corresponderían al *output*.

Evaluar esta propuesta pedagógica exige una metodología que pueda considerarse pertinente para este tipo de modelo, es decir, que sea capaz de evaluar enfoques de complejidad, porque valora la epistemología pedagógica, la teoría de la educación y los fenómenos que son de su competencia. La educación es incierta, caótica, de allí que la lógica difusa es un proceso paralelo que posibilita abordarla desde los problemas de incertidumbre (Esquivel García, Félix Benjamín y Bello Pérez, 2014).

FIGURA 2

Modelo de educación ambiental desde la teoría de la complejidad

Fuente: elaboración propia, producto de la investigación.

En particular, la lógica difusa pretende evaluar aprendizajes de competencias encaminadas a la construcción de “pensamiento complejo; rico en recursos metacognitivos y autocorrectivos que conlleven a la reflexión” (Bujan, Rekalde y Aramendi, 2011:19). Por consiguiente, se requiere evaluar las competencias (habilidades, conocimientos y actitudes) adquiridas en los cursos, las cuales contribuirán en la adquisición de una visión compleja del ambiente, para saber actuar frente a situaciones reales en contextos sociales, afectivos y profesionales (Bujan, Rekalde y Aramendi, 2011:19).

La educación, por su complejidad en las múltiples tareas, métodos de enseñanza-aprendizaje y procesos cognitivos, es considerada incierta, por lo tanto, la lógica difusa es, paralelamente, una estrategia para abordar los problemas de incertidumbre, particularmente en procesos de evaluación educativa, los cuales pretenden reconocer niveles de certidumbre (Colom Cañellas y Ballester Brage, 2020).

La evaluación mediante la metodología de lógica difusa ofrece criterios de pertenencia mediante mediciones y comprobaciones que van más allá

del sí/no; presenta otras posibilidades, que son parte de criterios flexibles o intermedios propios de juicios cualitativos, diferentes a la lógica discreta cuyas características en el proceso de evaluación son compatibles con metodologías cuantitativas con escalas de medidas de intervalos y razón reducidas (Colom Cañellas y Ballester Brage, 2020).

Metodología

La validación se realizó mediante un cuestionario cuyo objetivo fue indagar la manera en que los estudiantes adquirieron competencias y comprendieron lo enseñado a partir de la realidad ambiental en contexto; no pretendía evaluar el aprendizaje de contenidos, porque no se planteó una evaluación tradicional. El diseño de las preguntas ofrece posibles grados de verdad; por ejemplo, entre blanco y negro se puede analizar la realidad desde la escala de tonalidades grises.

Las preguntas del cuestionario se diseñaron para evaluar los elementos clave de los principios que hacen parte del modelo de complejidad, representados por contenidos y actividades. Cada una presenta tres opciones de respuesta, donde cada ítem a seleccionar incluye juicios intermedios, no pertinentes y uno óptimo. Así, se le dio un valor a cada opción de respuesta, mismo que sería empleado para construir una plantilla Excel con las respuestas de todos los estudiantes de un curso.

A cada opción se le dio un valor numérico: 3 implica la respuesta correcta, 2 es una opción intermedia, 1 califica la opción muy poco y 0 no se corresponde con la respuesta. Todos “los procesos educativos se pueden evaluar con múltiples valores borrosos que la teoría de la Educación, lineal y ordenada, no contempla” (Ballester Brage y Colom Cañellas, 2006:998).

Los resultados del procesamiento de datos en el programa son cualitativos y los grados de pertenencia se midieron en los rangos de 0 a 1, donde todos los valores próximos a 1 significan que se alcanza la meta máxima y los otros son intermedios (D'Negri y De Vito, 2006). El siguiente ejemplo da mayor claridad al respecto: una persona que mide dos metros es muy alta, el grado de pertenencia es 1; otra que mide 1.82 es alta con grado de pertenencia 0.78 y la que mide un metro no es alta, y el grado de pertenencia es cero.

Lo anterior nos da una idea de la manera como las opciones de respuestas abren posibilidades, representadas por grados de pertenencia (GP) a partir de las mediciones de variables, rompiendo criterios estándares y

dando oportunidad a otras opciones intermedias que también son válidas (D'Negri y De Vito, 2006).

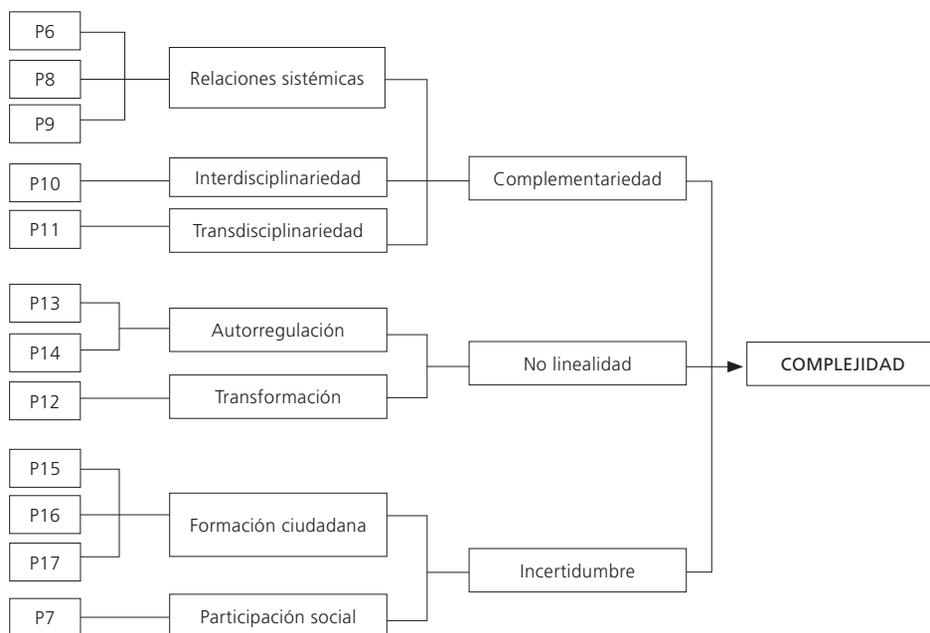
Algunas preguntas evaluaban competencias y otras verificaban el aprendizaje de contenidos que no fueron puntuales, con opciones de respuesta que cumplieran la condición de juicios difusos. Por otra parte, se definió la muestra para aplicar el cuestionario en tres cursos, seleccionando 15 estudiantes de cada uno.

El cuestionario consta de 17 preguntas, las primeras cinco tienen como propósito evaluar la metodología propuesta; las demás, evalúan los principios del modelo que se desarrollaron (ver anexo).

Las preguntas del cuestionario se organizaron en una estructura denominada cascada, dan cuenta de los elementos que conforman los principios, lo que permitió organizar todas las variables para facilitar el procesamiento de los datos en el programa GeoFIS (figura 3).

FIGURA 3

Diseño de cascada como herramienta para proceso de lógica difusa

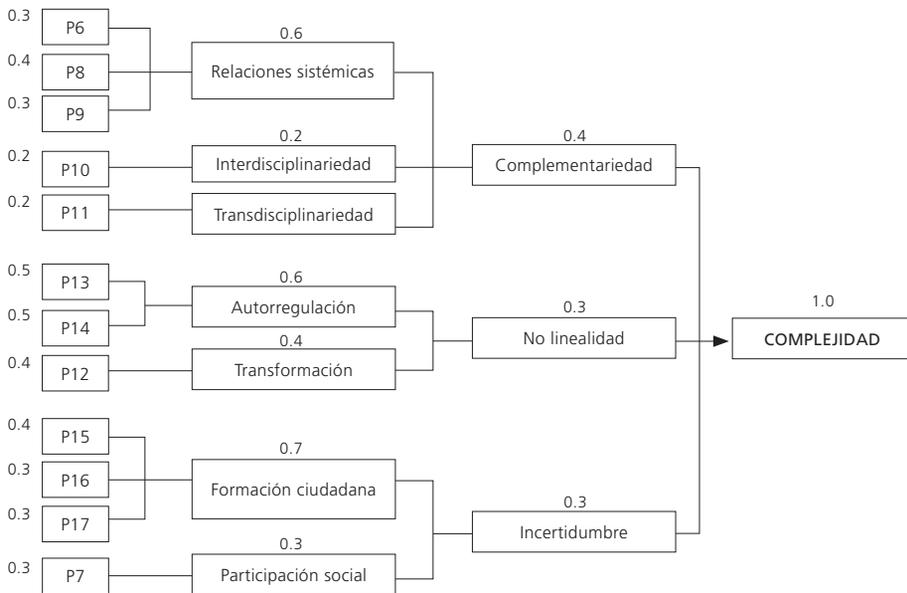


Fuente: elaboración propia, producto de la investigación.

Las respuestas del cuestionario aplicado a los estudiantes se organizaron en una plantilla de Excel, como insumo para el procesamiento de datos en GeofIS, este programa presenta dos modalidades. La primera es la media aritmética ponderada (WAM, por sus siglas en inglés), que representa un algoritmo numérico donde se asignan valores de acuerdo con los criterios de un experto, quien considera cuál de las preguntas es más pertinente para definir una característica; “es el más utilizado en aplicaciones de análisis de criterios múltiples, y consiste en asignar un peso a cada variable según su importancia; la suma de los pesos debe ser uno” (Mora Herrera, 2022:62). Los valores WAM considerados para cada pregunta se presentan en la figura 4.

FIGURA 4

Valores de las funciones de pertenencia del cuestionario



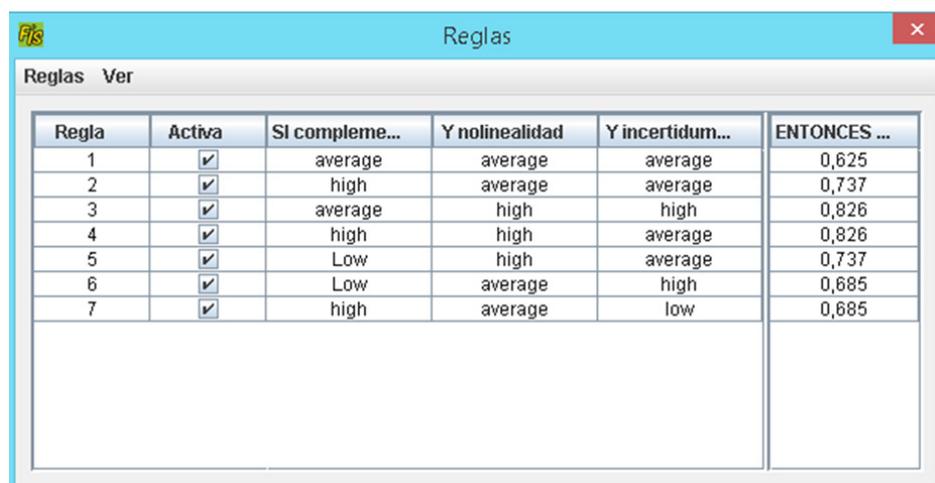
Fuente: elaboración propia, producto de la investigación.

Para cada principio, el valor de las preguntas debe sumar 1. En el principio de incertidumbre la suma de formación ciudadana, con un valor de 0.7, y la participación social, con 0.3, suman 1; a su vez, en formación ciudadana (con las preguntas 15, 16 y 17) suman 1, y la suma de los principios es igual a la complejidad con un valor de 1.

La segunda modalidad es el sistema de inferencia difusa (FIS, por sus siglas en inglés), que incluye reglas lingüísticas, donde los datos son representados por los juicios difusos cualitativos: alto, medio y bajo (*low*, *average* y *high*). Se trata de designaciones producto de las reglas difusas para modelar las interacciones entre variables individuales. Estos juicios describen el estado de cada característica, pero, a su vez, arrojan valores que también se pueden interpretar para obtener diversas conclusiones (figura 5).

FIGURA 5

Representa juicios FIS y sus respectivos valores WAM



Regla	Activa	SI compleme...	Y no linealidad	Y incertidum...	ENTONCES ...
1	<input checked="" type="checkbox"/>	average	average	average	0,625
2	<input checked="" type="checkbox"/>	high	average	average	0,737
3	<input checked="" type="checkbox"/>	average	high	high	0,826
4	<input checked="" type="checkbox"/>	high	high	average	0,826
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Low	high	average	0,737
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Low	average	high	0,685
7	<input checked="" type="checkbox"/>	high	average	low	0,685

Fuente: elaboración propia, producto de la investigación.

El algoritmo WAM proporciona una información al docente con datos numéricos que revelan que 1 es el valor mayor y 0 el menor. En el algoritmo FIS los resultados corresponden a juicios cualitativos que están respaldados por una información numérica. Esta permite analizar el proceso de aprendizaje de los estudiantes, además de identificar las debilidades o fortalezas del proceso de enseñanza aprendizaje.

Resultados

Los resultados WAM del GeoFIS se aprecian en la figura 6, donde se resalta la columna en azul, que corresponde a la variable de complejidad. Allí se puede interpretar el conocimiento adquirido por los estudiantes a nivel

individual y grupal. Sus respuestas evidencian las dificultades en cada uno de los componentes del curso, o también las potencialidades, con valores óptimos de 1 y mínimos de 0. Esta información es muy importante para el profesor pues brinda la oportunidad de mejorar las estrategias de enseñanza, cuando los valores sean bajos en temas identificados de algunas variables.

FIGURA 6

Datos de lógica difusa del curso de Educación ambiental desde la complejidad

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
Estudiantes	complej	comple	P10	P11	relacid	P6	P8	P9	nolin	P12	aut	P13	P14	incert	P7	form	P15	P16	P17
1	0.728	0.85	1.0	0.66	0.86	1.0	0.66	1.0	0.5	0.5	0.5	1.0	0.0	0.78	1.0	0.7	1.0	1.0	0.0
2	0.66	0.69	1.0	0.66	0.6	1.0	0.0	1.0	0.5	0.5	0.5	1.0	0.0	0.78	1.0	0.7	1.0	1.0	0.0
3	0.77	0.8	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
4	0.60	0.39	0.5	0.66	0.26	0.0	0.66	0.0	0.7	1.0	0.5	1.0	0.0	0.78	1.0	0.7	1.0	1.0	0.0
5	0.738	0.72	1.0	0.0	0.86	1.0	0.66	1.0	0.8	0.5	1.0	1.0	1.0	0.7	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0
6	0.715	0.82	0.5	1.0	0.86	1.0	0.6	1.0	0.8	0.5	1.0	1.0	1.0	0.48	0.0	0.7	1.0	1.0	0.0
7	0.96	0.9	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
8	0.644	0.62	0.5	0.0	0.86	1.0	0.66	1.0	0.6	0.0	1.0	1.0	1.0	0.72	1.0	0.6	0.0	1.0	1.0
9	0.797	0.85	1.0	0.6	0.86	1.0	0.66	1.0	0.8	0.5	1.0	1.0	1.0	0.72	1.0	0.6	0.0	1.0	1.0
10	0.756	0.54	1.0	0.0	0.56	0.0	0.66	1.0	0.8	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
11	0.677	0.72	0.0	1.0	0.86	1.0	0.66	1.0	0.6	0.0	1.0	1.0	1.0	0.7	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0
12	0.805	0.82	0.5	1.0	0.86	1.0	0.66	1.0	0.8	0.5	1.0	1.0	1.0	0.78	1.0	0.7	1.0	0.0	1.0
13	0.784	0.45	0.5	0.0	0.6	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
14	0.738	0.65	0.5	0.66	0.7	0.0	1.0	1.0	0.8	0.5	1.0	1.0	1.0	0.78	1.0	0.7	1.0	1.0	0.0
15	0.763	0.93	1.0	0.66	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	0.0	1.0	1.0	1.0	0.7	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Fuente: elaboración propia, producto de la investigación.

Es importante aclarar que el resultado de complejidad comprende el proceso total de enseñanza-aprendizaje, pues integra los principios y estos, a su vez, los componentes correspondientes como se puede observar en la figura 3.

La tabla 1 presenta los resultados de los tres cursos que se midieron con respecto al factor de complejidad, desde los algoritmos WAM y FIS. Los datos logrados del aplicativo FisPro se analizaron mediante el sistema de ANOVA.

Análisis de varianza (ANOVA)

Los datos obtenidos fueron tratados mediante un análisis de varianza, realizado en R (Librería ggpubr; Kassambara, 2023). Es un método estadístico utilizado para probar diferencias entre dos o más medias, diferencias de una variable numérica que se dan entre dos o más grupos definidos por una variable categórica. En este caso se compararon los valores medios del factor de complejidad de los tres cursos: Educación Ambiental desde la Complejidad, Fundamentos de Educación Ambiental y Humanitas, se pretendía evaluar

si los dos cursos del componente ambiental cumplían con la condición de complejidad en su proceso de formación.

TABLA 1

Resultados de los algoritmos WAM y FIS

<i>Educación ambiental desde la complejidad</i>	Resultados WAM			Resultados FIS		
	<i>Fundamentos de la educación ambiental</i>	<i>Humanitas</i>	<i>Educación ambiental desde la complejidad</i>	<i>Fundamentos de la educación ambiental</i>	<i>Humanitas</i>	<i>Educación ambiental desde la complejidad</i>
0.83	0.56	0.40	0.76	0.59	-1.00	
0.74	0.36	0.36	0.72	0.37	-1.00	
0.69	0.49	0.73	0.68	0.44	0.70	
0.63	0.36	0.50	0.62	0.40	0.55	
0.71	0.69	0.52	0.72	0.68	0.55	
0.65	0.74	-1.00	0.65	0.72	0.55	
0.69	0.56	0.58	-1.00	0.59	0.65	
0.68	-1.00	0.61	0.69	-1.00	0.55	
0.73	-1.00	0.50	0.72	-1.00	0.55	
-1.00	0.73	0.36	-1.00	0.72	-1.00	
-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.55	
-1.00	0.65	-1.00	-1.00	0.66	-1.00	
0.72	-1.00	0.36	0.75	-1.00	-1.00	
0.65	0.55	0.77	0.68	0.55	0.70	
-1.00	0.56	0.58	0.68	0.59	0.55	

Fuente: Resultados arrojados del programa, producto de la investigación.

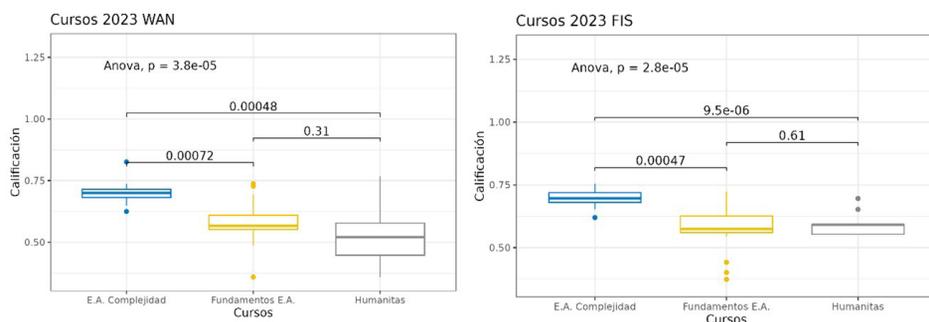
El método ANOVA permite determinar si las diferencias observadas en las medias de las muestras se deben a la variabilidad entre los grupos o se dan por aleatoriedad; tiene en cuenta el valor promedio y la dispersión de los datos. En la interpretación de las gráficas si el valor p es cercano a 1 se puede afirmar que los promedios entre grupos son iguales, pero si se acercan a 0 indican que uno de los promedios es diferente.

La prueba *t* de Student sirve para diferenciar si el promedio de un grupo es igual o diferente a otro. En este sentido se verifican dos tipos de hipótesis: nula = promedios iguales se acepta si el valor *p* es mayor a 0.05, alternativa = promedios diferentes si el valor *p* es menor de 0.05.

Las gráficas de la figura 7 muestran que los datos de los cursos del algoritmo FIS tienen un ANOVA $p = 2.8 \times 10^{-5}$; lo que implica que hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, es decir, que por lo menos uno de los promedios de la calificación entre los grupos es diferente; entonces se cumple la condición de ser una hipótesis alternativa, porque su valor está por debajo de 0.05.

FIGURA 7

Gráficas de cajas y bigotes



Fuente: Resultados arrojados del programa, producto de la investigación.

Si comparamos los resultados entre los cursos como aparecen en las gráficas se puede interpretar que el de Educación Ambiental desde la Complejidad y el de Fundamentos de la Educación Ambiental están representados con un valor 0.00072, de acuerdo con el valor $p = 7.3 \times 10^{-4}$ de la prueba *t* de Student. Dicha diferencia radica en los contenidos que abordan, la metodología de enseñanza empleada y el componente de complejidad, que es el factor que se midió en la evaluación.

Los cursos de Fundamentos de la Educación Ambiental y de Humanitas no presentan un valor significativo ($p = 0.31$), cumpliéndose la condición de hipótesis nula, su valor está por encima de 0.05 y dicho resultado es coherente pues el propósito de ambos no es un tratamiento de complejidad en la propuesta de contenidos y metodología.

Si se realiza un análisis individual de los cursos se puede concluir lo siguiente: en el de Humanitas los resultados denotan una gran variabilidad de las respuestas en los estudiantes; el tamaño de la caja refleja esta dispersión en los datos, algunos sacaron notas bajas por debajo de 0.20 y otros altas en el rango de 0.76. En el 25% superior, los datos están por debajo de 0.53; es decir unos cuantos estudiantes tenían buenos conocimientos del componente ambiental y el otro 50% comprende valores desde 0.53 hasta 0.76, lo que indica que algunos no tenían muchos conocimientos al respecto. En general, el análisis del instrumento aplicado en este curso fue muy bajo. Estos resultados son coherentes frente a la formación de los estudiantes que se matricularon en él; se ofreció como electivo para todos los programas de pregrado en la Universidad del Valle; es decir que algunos participantes pertenecían a programas del componente ambiental, mientras que para otros este tema fue totalmente nuevo.

En el curso de Fundamentos de Educación Ambiental, el rendimiento es superior al de Humanitas, su mediana está entre 0.60-0.58 y las calificaciones más bajas fueron 0.56. El 25% inferior es bastante denso, es decir que las calificaciones fueron bajas porque estaban en el rango de 0.48, mientras que en el otro 25% superior los estudiantes presentaron un nivel de dispersión más amplio (ver figura 7), con calificaciones más altas que estuvieron en el rango de 0.65. Estos datos indican que aprendieron casi lo mismo; sus repuestas fueron muy parecidas, los rangos fueron más bajos con respecto a la nota más alta de Humanitas, cuyos valores estuvieron entre 0.48 a 0.65.

Los resultados anteriores reflejan que los estudiantes de este curso, que se están formando en la licenciatura de Ciencias Naturales y Educación Ambiental, tienen conocimientos ambientales básicos, pero muy pocos comprenden su realidad desde la complejidad.

En el curso de Educación Ambiental desde la Complejidad se observa que la caja en la gráfica es pequeña, lo que significa que todos aprendieron casi lo mismo. Los aprendizajes fueron muy parejos, no hubo mucha dispersión, sus rangos estuvieron entre 0.75 y 0.65; donde el dato mayor del curso de Fundamentos es el menor en el curso de Complejidad y 0.75 fue equivalente en el de Humanitas.

Los resultados de la prueba t de Student confirman la hipótesis planteada al considerar que el curso de Complejidad es superior en el aprendizaje respecto de los otros dos.

Es importante anotar que los estudiantes que se matricularon en este curso construyeron conocimientos similares respecto de la comprensión de la realidad ambiental desde la complejidad, que para este caso era el conocimiento del territorio.

Discusión

Aunque la teoría de la complejidad no es un saber nuevo en el mundo académico, es importante anotar que la literatura reclama este componente para el tratamiento en la educación ambiental. Sin embargo, ponerla en juego en una propuesta real en el aula requiere ser validada para saber si su implementación fue acertada o si es necesario hacer ajustes al modelo construido.

Para que un sistema sea complejo es necesario conectar muchas partes para interactuar de una manera no lineal y que surjan nuevas propiedades (Flores Sánchez, Osuna Millán y Rosales Cisneros, 2021:28); en este sentido, adaptar esta teoría a aspectos epistemológicos de la educación ambiental exige que se articulen los propósitos pedagógicos, las diversas propuestas de enseñanza, las prácticas experimentales, el diálogo de saberes, la investigación en el aula, así como la formación en competencias y ciudadana.

La formación en educación ambiental requiere hacer cambios en sus modelos tradicionales de enseñanza, los cuales no permiten comprender la realidad de manera integral, pues el ambiente es un asunto complejo que necesita una didáctica a través de la investigación, donde se parte de una situación-problema del contexto escolar que permite desarrollar competencias y habilidades y prácticas experimentales.

Estos componentes deben formar una red de vínculos, además de contar con procesos no lineales donde la causa y efecto no guardan una proporcionalidad de la entrada y salida de productos del sistema, las partes no dan cuenta del sistema general, la autoorganización en los sistemas, la adaptabilidad y las lógicas no clásicas (Lara, Gallardo Cano y Almanza Márquez, 2021).

Abordar la educación ambiental desde la complejidad permite que se generen metodologías novedosas desde procesos transversales, de transdisciplinariedad, pues brinda la oportunidad de comprender la realidad ambiental desde diversas miradas (Lara, Gallardo Cano y Almanza Márquez, 2021). En este modelo, los estudiantes y el profesor aprenden investigando, se requiere la participación de expertos y de actores sociales

de la comunidad que contribuyan en la construcción de conocimiento a partir del diálogo de saberes, el aula no es un espacio físico, es donde se desarrollan interacciones que propicien aprendizajes.

Conclusión

Se puede afirmar que el curso de Educación Ambiental desde la Complejidad superó los resultados frente a los dos cursos con los que fueron contrastados; los valores obtenidos en el análisis de ANOVA reflejaron que los estudiantes obtuvieron resultados muy acordes en sus aprendizajes, mientras que en los otros dos cursos presentaron una dispersión en los datos, lo que significa que sus conocimientos en temas ambientales son diversos; es decir, que la mayoría de los estudiantes no dan cuenta de una lógica de complejidad.

La validación mediante la metodología de lógica difusa abre otras posibilidades para analizar los procesos de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes y del profesor, a partir de opciones intermedias, criterios flexibles, evaluación de habilidades, así como la comprensión de conocimientos que no están mediados por procesos memorísticos.

Los resultados de la evaluación de los cursos, mediante lógica difusa y analizados a través de una prueba ANOVA, revelan diferencias entre los tres cursos. Se validó la hipótesis alternativa porque el valor del parámetro p se presentó por debajo de 0.05; en el algoritmo FIS, con un valor t de Student de $p = 2.8 \times 10^{-5}$ y en el algoritmo WAM, con valor de $p = 7.3 \times 10^{-4}$.

Los datos del curso de Humanitas denotan una gran variabilidad en las respuestas de los estudiantes, están entre los rangos de 0.20 y 0.76, la caja es grande, denotando que los conocimientos son dispersos; el curso de Fundamentos de Educación Ambiental presenta una caja mediana con un rango entre 0.48 y 0.65, lo que significa que los estudiantes aprendieron casi lo mismo pero su comprensión de lo ambiental desde la complejidad es baja; y el curso de Educación Ambiental desde la Complejidad, presenta un rango entre 0.65 y 0.75, con una densidad alta, los bigotes son cortos lo que significa poca dispersión de los datos y aprendizajes parejos respecto del conocimiento ambiental desde la complejidad.

La educación ambiental desde la teoría de la complejidad requiere que el docente fortalezca su formación profesional, implemente otras didácticas que permitan que los estudiantes puedan comprender la realidad compleja

del ambiente desde una propuesta de enseñanza-aprendizaje que contribuya a desarrollar competencias y habilidades a partir de la búsqueda de respuestas a una pregunta de investigación situada en un contexto escolar.

De esta manera, se construye conocimiento a partir de la consulta a expertos y a la comunidad desde el diálogo de saberes, así como desde didácticas de resolución de problemas, prácticas experimentales y búsqueda en diferentes fuentes bibliográficas, que permiten entender la realidad ambiental desde diferentes estrategias.

ANEXO

Encuesta para estudiantes

Marque con una X la escala que considera pertinente para cada una de las opciones (no se puede repetir valoración en una pregunta)

Pregunta	Opciones	Respuesta
6. La participación de expertos e invitados a las sesiones de clases fueron importantes para:	a. Ampliar sus conocimientos ambientales	
	b. Brindar conocimientos ancestrales	
	c. Brindar conocimientos científicos	
	d. No hubo participación de invitados	
7. El curso ofreció desarrollo de habilidades en:	a. Investigación, habilidades tecnológicas y prácticas experimentales	
	b. habilidades tecnológicas y prácticas experimentales	
	c. Prácticas experimentales e investigación.	
	d. Prácticas experimentales	
	e. Investigación	
8. El análisis de las relaciones de los seres vivos con su entorno contribuyen para la comprensión de las características de la totalidad de una realidad ambiental	a. Teoría sistémica	
	b. Servicios ecosistémicos	
	c. Teoría de la complejidad	
9. En la cadena alimenticia se estudia cómo las especies consiguen sus nutrientes y las conexiones entre ellas	a. Estudiar las relaciones sistémicas	
	b. Estudiar los fundamentos de ciencias biológicas y ecología	
	c. Estudiar las especies comprometidas por separado	
	d. Estudiar las cadenas alimenticias por separado	
10. Para entender las causas de un problema ambiental se requiere	a. El análisis de un experto	
	b. La opinión de diferentes personas del contexto	
	c. El estudio de especialistas de diferentes disciplinas	

ANEXO / CONTINUACIÓN

Pregunta	Opciones	Respuesta
11. Según lo aprendido en el curso el ambiente es:	a. Todo lo que nos rodea	
	b. Los seres vivos de la naturaleza	
	c. La relación de los seres vivos con su entorno	
	d. Es un sistema	
12. Se educa sobre la huella hídrica y la huella del Carbono para:	a. Medir el impacto producido por las actividades que generan el cambio climático	
	b. Busca cuantificar la cantidad de emisiones de gases efecto invernadero (directas e indirectas), medidas en emisiones de CO ₂	
	c. Para medir el impacto de las actividades que realizamos	
13. La situación que mejor se ajusta al concepto de autopoiesis es:	a. Un ser vivo que tiene la capacidad de modificarse y repararse a sí mismo	
	b. Es el intercambio del ser vivo con su entorno	
	c. Transformar y destruir lo producido en un sistema	
14. El elevado número de depredadores necesitará muchas presas para alimentarse	a. Autorregulación en los ecosistemas	
	b. Relación entre depredadores y presas	
	c. Autopoiesis	
15. Frente a un evento de calamidad, tu contribución al bien de los afectados sería:	a. De acuerdo con sus posibilidades	
	b. No se involucra	
	c. Se involucra	
16. Dentro del campus de la universidad Ud. observa que no hay cultura frente al manejo de los residuos. Su propuesta sería:	a. Invita al cuidado del ambiente	
	b. Considera que cada persona es libre de actuar como quiera	
	c. No se involucra porque la universidad tiene personal que hace aseo	
17. Si su aula de clase no está limpia y ordenada	a. Usted limpia y organiza	
	b. Usted se queja	
	c. Usted organiza su puesto y se sienta	

Fuente: elaboración propia.

Nota

¹ En adelante, en este trabajo se empleará el masculino con el único objetivo de hacer más fluida la lectura, sin menoscabo de género.

Referencias

- Acevedo Almonacid, Ricardo; Aravena-Reyes, José; Aguilar Molina, Mauricio L. y Azevedo Junior, Waldyr (2005). “Educación y complejidad: bases epistemológicas y aproximaciones estratégicas”, ponencia presentada en Third LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology “Advances in Engineering and Technology: A Global Perspective”, 8-10 de junio, Cartagena de Indias, Colombia. Disponible en: <https://n9.cl/fp38zq>
- Ballester Brage, Luís y Colom Cañellas, Antoni J. (2006). “Lógica difusa: una nueva epistemología para las Ciencias de la Educación”, *Revista de Educación*, núm. 340. Disponible en: <https://www.educacionfpydeportes.gob.es/revista-de-educacion/numeros-revista-educacion/numeros-anteriores/2006/re340/re340-35.html>
- Blanco, Negligía y Pirela, Johann (2016). “La complementariedad metodológica: estrategia de integración de enfoques en la investigación social”, *Espacios Públicos*, vol. 19, núm. 45, pp. 97-111. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/676/67646966005.pdf>
- Boff, Leonardo (2011). *Ecología: grito de la Tierra*, Madrid: Trota.
- Bujan, Karmele; Rekalde, Itziar y Aramendi, Pello (2011). *La evaluación de competencias en la educación superior. Las rubricas como instrumento de evaluación*, Bogotá: Ediciones de la U.
- Calafell Subirà, Genina y Banqué Martínez, Neus (2017). “Caracterización de las concepciones de complejidad de un grupo de investigadores de la educación ambiental”, *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 35, núm. 1, pp. 53-69. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1909>
- Colom Cañellas, Antoni J. y Ballester Brage, Luís (2020) “La epistemología de la complejidad en ciencias sociales y de la educación: debates, modelos de análisis y aplicaciones”, en W. L. Morales Prado y T. Váldez Bubnova (coords.), *Perspectivas desde la complejidad y ciencias sociales*, Cuernavaca: El Colegio de Morelos, pp. 17-60. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7830437>
- D'Negri, Carlos Eduardo y De Vito, Eduardo Luis (2006). “Introducción al razonamiento aproximado: lógica difusa”, *Revista Americana de Medicina Respiratoria*, vol. 6, núm. 3, diciembre, pp. 126-136. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3821/382138367007.pdf>
- Duarte Díaz, Jenny Johana y Valbuena Ussa, Edgar, O. (2014). “Referentes de la formación de profesores en educación ambiental, Revisión de antecedentes 2000-2012”, *Uni-Pluriversidad*, vol. 14, núm. 2, pp. 27-36. <https://doi.org/10.17533/udea.unipluri.20054>
- Esquivel García, Renier; Félix Benjamín, Gerardo; Bello Pérez, Rafael (2014). “Evaluación del impacto de la capacitación con lógica difusa”, *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, vol. 22, núm. 1, pp. 41-52. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052014000100005>
- Flores Sánchez, Carlos; Osuna Millán, Nora y Rosales Cisneros, Ricardo (2021). “Teoría de la complejidad y clúster industrial: caso de un clúster de software”, *CCEE*, vol. 2, pp. 27-36. Disponible en: <https://revistas.unsa.edu.pe/index.php/rcc/article/view/36/92>
- García, J. Eduardo (2004a). *Educación ambiental, constructivismo y complejidad*, Sevilla: Diada Editoria.

- García, J. Eduardo (2004b). “Los contenidos de la educación ambiental: una reflexión desde la perspectiva de la complejidad”, *Revista Investigación en la Escuela*, núm. 53, pp. 31-51. Disponible en: <https://revistascientificas.us.es/index.php/IE/article/view/7531/6662>
- Hernández Nodarse, Mario y Aguilar Esteban, Tania (2008). “Teoría de la complejidad y aprendizaje: algunas consideraciones necesarias para la enseñanza y la evaluación”, *Lecturas: Educación Física y Deportes*, vol. 13, núm. 121. Disponible en: <http://www.efdeportes.com/efd121/teoria-de-la-complejidad-y-aprendizaje.htm>
- Juárez, José Manuel y Comboni Salinas, Sonia (2012). “Epistemología del pensamiento complejo”, *Reencuentro*, núm. 65, pp. 38-51. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/340/34024824006.pdf>
- Kassambara, A. (2023). *ggpubr: 'ggplot2' based publication ready plots. R package version 0.6.0*. Disponible en: <https://rpkgs.datanovia.com/ggpubr/>
- Lara, Felipe (coord.) (2017). *Aplicaciones de las ciencias de la complejidad al diagnóstico e intervención en problemas sociales*, serie Ediciones Académicas, Ciudad de México: Colofón.
- Lara, Felipe; Gallardo Cano, Alejandro y Almanza Márquez, Silvia (2021). *Teorías, métodos y modelos para la complejidad social: un enfoque de sistemas complejos adaptativos*, Colección Conocimiento, Ciudad de México: Ediciones Comunicación Científica. Disponible en: <https://comunicacion-cientifica.com/wp-content/uploads/2021/06/2-Teorias-de-la-complejidad-INTERIORES-PDF.pdf>
- Luengo-González, Enrique (2018). *Las vertientes de la complejidad. Pensamiento sistémico, ciencias de la complejidad, pensamiento complejo, paradigma ecológico y enfoque holístico*, Guadalajara, México: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente. Disponible en: <https://rei.iteso.mx/server/api/core/bitstreams/17c60568-793b-4205-8dd6-1529035852f1/content>
- Martín-Molero, F. (1998). “Análisis de la educación ambiental en la Universidad”, *Observatorio Medioambiental*, núm. 1, pp. 105-126. Disponible en: <https://revistas.ucm.es/index.php/OBMD/article/view/OBMD9898110105A>
- Mora Herrera, Denys Y. (2022). *Análisis de la complejidad de los sistemas de producción de cacao (theobroma) en el Tolima utilizando métodos de inteligencia artificial*, tesis doctoral, Cali: Universidad del Valle.
- Morin, Edgar (1999). *Las siete competencias necesarias para la educación del futuro*, París: Unesco. Disponible en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000117740_spa
- Morin, Edgar (2008). *Introducción al pensamiento complejo*, Barcelona: Gedisa. Disponible en: <https://n9.cl/xm6x3>
- Morin, Edgar (2011). *La vía: para el futuro de la humanidad*, Barcelona: Paidós. Disponible en: <https://n9.cl/zj22b>
- Reynoso, Carlos (2006). *Complejidad y caos: una exploración antropológica*, Buenos Aires: Editorial Sb.
- Sauvé, Lucie (2004). “Perspectivas curriculares para la formación de formadores en educación ambiental”, *Carpeta informativa CNEAM*, Madrid: Centro Nacional de Educación Ambiental, pp. 162-160.

- Severo Arce Rojas, Rodrigo (2021). “Relaciones entre el pensamiento complejo y los sistemas complejos adaptativos”, *Simbiótica. Revista Electrónica*, vol. 8, núm. 1. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=575967011001>
- Torres Carrasco, Maritza (2012). *Política ambiental SINA*, Bogotá: Ministerio de Educación Nacional.
- Vega Marcote, Pedro y Álvarez Suárez, Pedro (2005). “Planteamiento de un marco teórico de la educación ambiental para un desarrollo sostenible”, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, vol. 4, núm. 1, pp. 187-208. Disponible en: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen04/ART4_Vol4_N1.pdf
- Velázquez-Guzmán, María-Guadalupe y Lara-Rosano, Felipe (2017). *Estrategias educativas para la convivencia escolar de los adolescentes. Un enfoque de sistemas complejos*, Saarbrücken: Editorial Académica Española.
- Watanabe, Giselle; Calafell Subirà, Genina y Rodríguez Marín, Fátima (2022). “¿Cómo incorporamos la complejidad en actividades de educación científica y ambiental?”, *Revista Enseñanza de las Ciencias*, vol. 40, núm. 2, pp. 109-124. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3504>

Artículo recibido: 16 de agosto de 2024

Dictaminado: 29 de octubre de 2024

Segunda versión: 16 de enero de 2025

Aceptado: 21 de enero de 2025