

ENSEÑANZA DEL PENSAMIENTO SISTÉMICO DE LA TIERRA. EVIDENCIAS DEL APRENDIZAJE ACTIVO Y PROPUESTA DE UN MODELO DE CAPÍTULO PARA EL “ATLAS INTERDISCIPLINARIO DE MÉXICO”

Eduardo Becerra-Torres^{1,2*} y Oscar Bravo-Pérez¹

¹ Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Juriquilla, Universidad Nacional Autónoma de México, Boulevard Juriquilla 3001, C.P. 76230, Querétaro, México.

² Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria s/n, C.P. 04510 Ciudad de México, México.

*becerra@unam.mx

RESUMEN

La Tierra, la sociedad y el ambiente están encarando en los últimos años fuertes crisis climáticas, energéticas, alimenticias e hídricas. En la formación académica esta circunstancia obliga a los docentes a formar profesionales capaces de entender la importancia de la interdisciplinariedad y la transdisciplinariedad y de la aplicación de los conocimientos que con ellas se adquieren en la resolución de problemas multivariados en sistemas complejos. La enseñanza de las Ciencias de la Tierra debe implementar técnicas de docencia innovadoras y estimulantes que permitan desarrollar el Pensamiento Sistémico de la Tierra (PST). Los docentes que abordan los temas del Sistema Tierra deben tener claro que el estudiantado está conformado por personas con perfiles heterogéneos y académicos diversos y, en consecuencia, utilizar las técnicas de enseñanza-aprendizaje tradicionales, discursivas y unidireccionales reduce las posibilidades de adquirir habilidades de orden superior como el análisis, la síntesis y la resolución de problemas. En este trabajo presentamos un modelo de capítulo para el “Atlas Interdisciplinario de México” utilizando datos de un estudio sobre la Cuenca de Serdán-Oriental con actividades conducidas que permiten el ejercicio del pensamiento sistémico transdisciplinario con vistas a la formación de profesionales capacitados para contribuir a la solución de los problemas globales que enfrenta la sociedad. Asimismo, presentamos los resultados de la intervención educativa durante el 2022 que demuestran que la aplicación de este modelo de enseñanza estimula el aprendizaje autónomo y la resolución de problemas complejos, con miras a cumplir el objetivo de una educación de calidad y la reducción de desigualdades.

Palabras clave: Pensamiento Sistémico de la Tierra, evaluación del aprendizaje, transdisciplina, pensamiento escalar, pensamiento espacial.

ABSTRACT

In recent years, the Earth, society and the environment have been facing severe climate, energy, food and water crises. In academic education, this situation motivate teachers to train professionals capable of understanding the importance of interdisciplinarity and transdisciplinarity and the application of the knowledge they acquire in solving multivariate problems in complex systems. Earth science education needs to implement innovative and stimulating teaching techniques to develop Earth Systemic Thinking (EST). Teachers dealing with Earth System topics must be aware that the student body is made up of people with heterogeneous and academically diverse profiles and, consequently, using traditional, discursive and unidirectional teaching-learning techniques reduces the possibilities of acquiring higher-order skills such as analysis, synthesis and problem solving. In this paper we present a chapter model for the 'Interdisciplinary Atlas of Mexico' using data from a study on the Serdán-Oriental Basin with conducted activities that allow the exercise of trans-disciplinary systems thinking with a view to training skilled professionals to contribute to the solution of global problems facing society. We also present the results of the educational intervention during 2022 that demonstrate that the application of this teaching model stimulates autonomous learning and the resolution of complex problems, with a view to fulfilling the objective of quality education and the reduction of inequalities.

Keywords: Earth System Thinking, learning assessment, transdisciplinary, scalar thinking, spatial thinking.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el estudiantado de Ciencias de la Tierra ha pasado de solo estar interesado en la Tierra desde la perspectiva multidisciplinar a ser agentes claves para entender y transmitir los problemas de un Sistema Tierra complejo. Las sociedades en el mundo demandan al profesional geocientífico el desarrollo llamado Pensamiento Sistémico de la Tierra (PST, *Earth System Thinking*) indispensable para resolver problemas complejos relacionados con las crisis mayores del planeta como la distribución y generación de alimentos o las crisis sanitarias y climáticas, entre otras.

Sin embargo, aunque estos problemas globales han sido planteados para ser resueltos con PST, las investigaciones relacionadas con la enseñanza de las Ciencias de la Tierra (Herbert, 2006; Soltis *et al.*, 2019) muestran que el PST solo puede ser transmitido a través de técnicas de aprendizaje activo que estimulen el pensamiento crítico profundo. Estas técnicas requieren de un trabajo de planeación y estructuración sistemático que vaya más allá de la transmisión unidireccional de conocimiento y con evaluaciones simples memorísticas como los exámenes tradicionales.

Este trabajo presenta algunos resultados obtenidos con estudiantes al implementar algunas actividades se incluyen materiales que estimulan el PST y muestran cómo permiten construir aprendizajes significativos. Asimismo, se describen las actividades que pueden encontrarse en el “Atlas Interdisciplinario de México” y algunos datos de encuestas de inicio y cierre de curso. Cuando el estudiantado de Ciencias de la Tierra llegan a desarrollar el PST se convierten en agentes clave con una visión transdisciplinaria capaces de resolver problemas sistémicos y complejos. Asimismo, adquirido este pensamiento estructurado, pueden manejar la comunicación científica en foros con audiencias amplias no necesariamente especializadas.

1.1 Antecedentes para la enseñanza del PST

El PST responde a entender a la Tierra como un sistema dinámico que busca trascender las fronteras disciplinares y adoptar una visión holística de las interacciones entre atmósfera, geósfera, hidrósfera, biosfera con los sistemas sociales (Change, 2004; Jacobson *et al.*, 2000). Esta visión es una demanda establecida desde la declaración de la crisis climática global (Pacto Global de las Naciones Unidas, 2000). Rockström *et al.* (2009) plantean que el PST implica visualizar la Tierra como un objeto de estudio donde los componentes físicos, químicos, biológicos y sociales interactúan e influyen mutuamente.

Por su parte, Manduca y Mogk (2006) establecen que el PST implica desarrollar una visión escalar que, en los procesos de enseñanza, estimule la percepción de incluir variables en un espacio de más de dos dimensiones como el mecanismo para establecer relaciones causas-consecuencias claras. Asimismo, debido a la naturaleza del objeto de estudio de las Ciencias de la Tierra, donde la experimentación frecuentemente se ve limitada, el PST implica tener potenciadas habilidades observacionales y deductivas capaces de explicar la fenomenología terrestre con las limitantes de muestreo siempre presentes (Kastens y Manduca, 2012).

1.2. Antecedentes para la enseñanza de los sistemas complejos

Entendamos los sistemas como distintas partes de un todo que aislamos y al que les asignamos límites (reales o imaginarios) para su estudio. Podemos considerar la atmósfera, la hidrósfera, la litósfera y la biósfera como sistemas con complejidades y características determinadas (Hevia, 2009). Sin embargo, Piaget *et al.* (2006) plantean que los sistemas complejos son una representación de la realidad que es conceptualizada como una totalidad organizada cuyos elementos no son separables y por tanto no pueden ser estudiados aisladamente. Uno de los principales objetivos de la ciencia es comprender los fenómenos naturales que ocurren en la Tierra. Para lograrlo debemos entender que nuestro planeta funciona como un sistema complejo formado por una gran variedad de subsistemas que interactúan entre ellos intercambiando energía y materia (Donner *et al.*, 2009).

Los fundamentos de la complejidad consisten en la relación existente entre el objeto de estudio y las disciplinas a partir de las cuales se realiza dicho estudio, en esta relación la complejidad está asociada con la incapacidad de simplificar un fenómeno a partir de una disciplina específica (Piaget *et al.*, 2006). En el caso de los modelos utilizados para la enseñanza en esta contribución, utilizamos una base de datos de elementos mayores y trazas con características geológicas descriptibles, relaciones químicas esperadas por los modelos de distribución elemental; y acopladas a una visión espacial que da la capacidad de ser representada con un mapa de la región. En este trabajo mostramos una problemática de manera integral y presentamos como al dotar de materiales centrados en el 'saber-hacer' (Indorf *et al.*, 2021) resulta beneficioso según los datos de percepción del aprendizaje significativo.

METODOLOGÍA

Desde el año 2022 en la Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Juriquilla (ENES-J) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se han desarrollado e implementado actividades que permiten aprendizaje activo centrado en datos. Este tipo de aprendizaje permite desarrollar habilidades de orden superior, las cuales generan aprendizaje significativo y entre la comunidad estudiantil un pensamiento crítico (Anderson y Krathwohl, 2001; Ram *et al.*, 2020). Las actividades construidas permiten entrenar las percepciones escalar, espacial y temporal. Todas ellas centradas en problemas del Sistema Tierra atravesados transdisciplinariamente por las ciencias química y geológica. A continuación, se presenta un modelo de actividad, evidencias de aplicación de las actividades y un análisis de los resultados experimentados por el estudiantado que ha tomado los cursos posteriormente a la intervención pedagógica.

DESARROLLO

3.1 La enseñanza transdisciplinaria como vía hacia la sustentabilidad

La multidisciplinariedad es una acción colaborativa entre expertos de distintas áreas para resolver un problema particular sin modificar su visión metodológica (Paoli-Bolio, 2019). Esta es la metodología de algunos de los planes de estudio de la UNAM enfocados en Ciencias de la Tierra, donde especialistas en diversas materias presentan sus conocimientos y generan modelos muchas veces disociados del resto de currículum. Es evidente que esta disociación genera un conflicto

en el estudiantado cuando intentan abordar problemas sistémicos complejos. La interdisciplinariedad plantea un primer acercamiento para subsanar la disociación que mantiene la multidisciplinariedad. Una colaboración interdisciplinaria implica una relación entre las disciplinas cuyas teorías y modelos se integran (Paoli-Bolio, 2019), es decir, que en la resolución interdisciplinaria de problemas se requerirá de la construcción de una metodología común donde cada uno de los especialistas aporte conceptos, planteamientos de problemas y métodos de investigación (Esther *et al.*, 2008).

La mayoría de los proyectos de docencia se realiza usando el esquema de la interdisciplinariedad. Sin embargo, se requiere dar un paso más hacia la integración disciplinaria para enfrentar los problemas más preocupantes que padece la humanidad en este siglo. La transdisciplinariedad surge entonces como la aportación metodológica-conceptual de una disciplina dentro de otra disciplina (Esther *et al.*, 2008), es decir, ocupar e incorporar metodologías de una disciplina en otra distinta con el fin de reforzar sus planteamientos. La implementación de estos modelos transdisciplinarios beneficia directamente al estudiantado de nivel superior en la resolución de las crisis socioambientales globales (Orion, 2024).

3.2 Actividades de la intervención educativa y el modelo del “Atlas interdisciplinario de México”

El “Atlas interdisciplinario de México: una visión geocientífica”, está inspirado en la estructura con la cual se han construido los proyectos de los UNESCO *Global Geoparks* (e.g. Canet, 2023; García-Sánchez *et al.*, 2021). Estos proyectos resaltan el valor geológico de la región escogida y lo complementan y enriquecen con los valores sociales y culturales que a lo largo del tiempo han adquirido los sitios (Palacio Prieto *et al.*, 2019).

Un Atlas con estos estándares es el resultado de un trabajo interdisciplinario. Desde una visión geocientífica, el Atlas se construye a partir de la investigación geológica básica con el propósito de establecer la geodiversidad y estructurar los geositos (Kozłowski, 2004). El geocientífico establece puntualmente la riqueza geológica de un sitio y determina la identidad cultural de la región y los impactos ambientales alrededor de esta área de estudio.

Desde una perspectiva interdisciplinaria y con una visión geocientífica, este Atlas busca presentar el patrimonio geológico del país (Brilha, 2016; Palacio Prieto *et al.*, 2019) a través de muestras de minerales y rocas en conjunto con los datos de caracterización. Estos elementos del patrimonio geológico pueden ser fácilmente presentados gráficamente y organizados de manera *ex situ* desde la perspectiva transdisciplinaria de una persona geocientífica.

La visión de la enseñanza para estimular el pensamiento sistémico requiere implementar recursos didácticos que apoyen el aprendizaje activo. En la Licenciatura en Ciencias de la Tierra se he probado en las asignaturas de Geología General, Geoquímica, Química 2 y Petrología de Rocas Cristalinas diversas actividades para desarrollar habilidades y ejercitar este tipo de aprendizaje. Esto es crucial para formar profesionales aptos en la atención de las problemáticas sistémicas, globales y complejas. En este sentido, el pensamiento sistémico de la Tierra es un concepto central en estos cambios de paradigma y es lo esperado de les licenciadas en Ciencias de la Tierra en el ámbito profesional dentro y fuera de la academia.

Considerando lo anterior, la propuesta fue diseñar, elaborar e implementar una serie de actividades dirigidas de aprendizaje cooperativo, aprendizaje con datos y en general actividades con las que el estudiantado tenga claras las aplicaciones y las implicaciones de productos tangibles en su trabajo dentro de los laboratorios y las aulas. Estas actividades son la base del “Atlas interdisciplinario de México: una visión geocientífica”. Las cuales fueron implementadas a lo largo del año 2022 y consideradas como una intervención educativa destacable cuyos resultados se presentan a continuación.

RESULTADOS

4.1 El modelo del “Atlas Interdisciplinario de México”

Para cumplir con los objetivos de este trabajo se elaboró el modelo de capítulo para el “Atlas Interdisciplinario de México”. Actualmente este trabajo sigue en proceso y próximamente será publicado. Cada capítulo presenta materiales gráficos y estadísticos para plantear el análisis regional a través de la visión de la Tierra como un sistema visto desde distintos enfoques. Asimismo, al final de cada capítulo se presentan algunas preguntas/actividades que estimulen el pensamiento crítico y transdisciplinario. Dichas preguntas construyen una actividad final que establece los elementos para caracterizar un problema que vincule al Sistema Tierra con la crisis ambiental desde la perspectiva de las ciencias de la complejidad.

La Figura 1 muestra el mapa y las imágenes petrográficas que, junto con los datos geoquímicos, proponen un ejercicio para el desarrollo de habilidades espaciales y escalares. Al complementar los materiales cartográficos tradicionales con información abstracta como el análisis químico de los materiales terrestres, da un nuevo sentido a los valores poco descriptivos, trasladándolos a un escenario espacial mucho más fácil de correlacionar con las esferas del sistema terrestre.

El proyecto del Atlas también pretende correlacionar la escala microscópica con la escala macroscópica. Esta capacidad de vincular características a una escala menor con los procesos que modelan la Tierra construye las habilidades de síntesis y abstracción cruciales para estudiar los problemas de la sustentabilidad y permitir encontrar una solución factible para ellos. El desarrollo de estas dos habilidades es la base para estructurar un pensamiento sistémico que pueda ser asociado con problemas complejos, como los que se pretende resolver desde la sostenibilidad. Durante esta actividad, el docente debe sensibilizar a los estudiantes sobre la importancia de entender las regiones del planeta en su conjunto, correlacionar características geográficas con los datos cuantificables y formular interpretaciones y conclusiones que sean relacionables con el entorno que se estudia.

4.2 Los resultados de la intervención pedagógica

Durante el año 2022 se realizaron encuestas de inicio y cierre en los dos semestres. La población analizada está representada en la Figura 2a, les estudiantes corresponden a aquellos que tomaron las asignaturas de Geoquímica y Petrología de Rocas Cristalinas del plan de estudios 2010 y Geología General y Química 2 del plan de estudios 2021, ambos grupos de la Licenciatura en Ciencias de la Tierra de la ENES-J.

a)

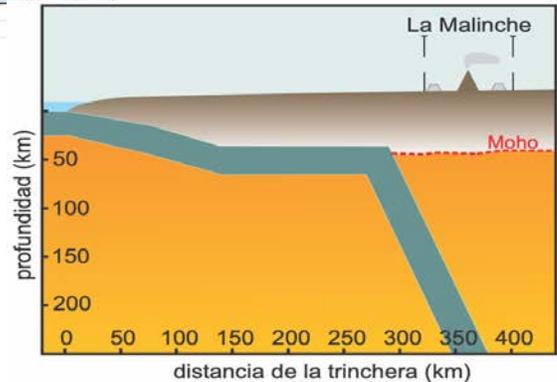
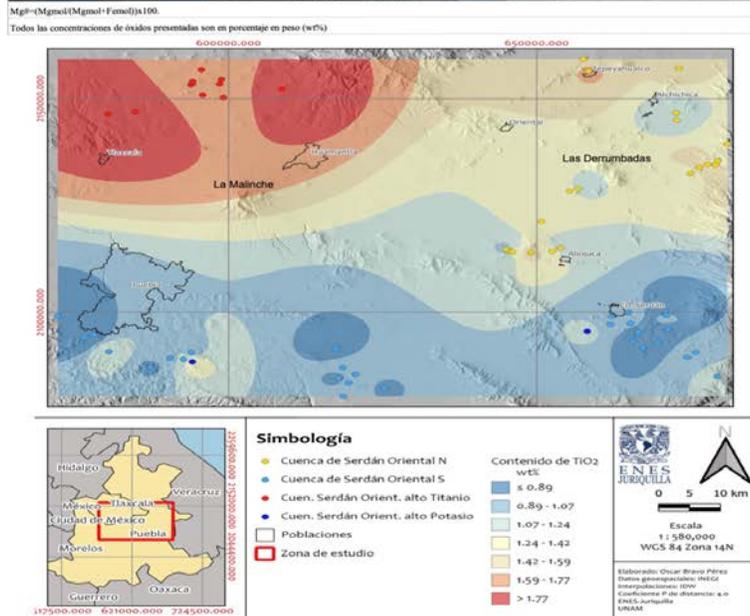
Atlas Interdisciplinario de México Cuenca de Serdán Oriental, Puebla

Análisis espacial

1) Revisa los datos de la siguiente tabla y puntualiza las diferencias en contenido de TiO₂ en los tres grupos

Mg#	Edificio volcánico	Muestra	longitud	latitud	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
51.4	malpais T	CSO-1	98°14.057'	19°24.607'	1.80	17.54	8.47	0.12	5.02	7.33	4.21	1.26	0.53
54.2	malpais T	CSO-2	98°03.666'	19°28.382'	1.68	17.15	8.90	0.15	5.91	9.58	3.58	1.09	0.46
52.5	Cerro El Tecajete	CSO-3	97°57.908'	19°27.721'	1.94	16.17	9.91	0.16	6.14	8.84	4.03	1.08	0.44
53.5	malpais T	CSO-4	98°11.492'	19°24.887'	1.90	17.22	9.52	0.15	6.13	8.37	3.64	0.89	0.43
48.6	malpais T	CSO-5	98°11.492'	19°24.887'	1.95	17.20	9.86	0.17	5.22	8.64	3.71	1.07	0.44
63.2	Cerro Tecajete	CSO-6	97°31.286'	19°14.590'	1.31	16.11	7.98	0.13	7.68	8.71	3.49	1.52	0.37
61.2	El Brujo (volcán escudo)	CSO-7	97°37.059'	19°07.016'	1.04	16.80	7.12	0.12	6.31	6.90	3.90	1.49	0.26
57.8	Maar Tecuitlapa	CSO-8	97°32.241'	19°07.385'	1.09	17.37	7.14	0.11	5.48	7.16	4.03	1.54	0.32
59.2	Cerro El Corazón (cono monogenético)	CSO-9	97°19.297'	19°17.467'	1.56	16.42	8.96	0.15	7.31	9.33	3.44	1.03	0.34
61.9	Cerro La Cruz (cono monogenético)	CSO-10	97°20.106'	19°16.731'	1.31	16.61	8.31	0.15	7.57	9.25	3.23	1.24	0.38
60.2	flujo de lava	CSO-11	97°18.493'	19°17.822'	1.53	16.54	8.52	0.16	7.23	9.33	3.56	1.17	0.36
59.5	Cono monogenético	CSO-12	97°17.771'	19°17.760'	1.57	16.66	8.82	0.15	7.27	8.94	3.53	1.15	0.36
66.8	flujo de lava	CSO-13	97°17.570'	19°18.312'	1.23	15.82	8.16	0.15	9.20	9.22	3.24	1.04	0.27
64.2	Cerro Cuecucllo	CSO-14	97°16.670'	19°20.465'	1.34	15.84	8.55	0.15	8.59	9.74	3.45	1.07	0.44
56.6	Cerro Tezontepc	CSO-15	97°29.878'	19°31.284'	1.49	16.91	8.29	0.14	6.06	8.22	3.91	1.33	0.38
48.0	malpais Los Humeros	CSO-16	97°21.037'	19°30.086'	1.46	17.10	7.85	0.13	4.07	7.15	3.73	1.39	0.32
61.6	Cerro Tochtepec	CSO-17	97°48.672'	18°49.691'	0.89	16.05	5.41	0.09	4.86	9.20	3.34	2.28	0.27
65.1	Cerro Tepeyahualco	CSO-18	97°52.510'	18°48.690'	0.91	16.78	6.48	0.11	6.77	7.32	4.27	1.01	0.22
61.3	Cerro Zapotlán	CSO-19	97°51.977'	18°50.388'	1.01	17.25	6.35	0.10	5.64	6.77	4.20	1.50	0.35
62.4	Cerro Resabaladero (cono monogenético)	CSO-20	97°27.581'	18°58.676'	1.05	16.96	8.30	0.15	7.73	9.75	3.15	0.99	0.21
64.2	Cerro Borrego (cono monogenético)	CSO-21	97°27.702'	18°57.624'	1.00	16.20	6.52	0.10	6.56	7.98	3.56	2.28	0.44
65.8	Cerro El Jaguey	CSO-22	98°06.380'	18°53.143'	1.38	14.61	9.03	0.15	9.75	10.78	2.75	2.37	0.80
68.5	Cerro Macegual (cono monogenético)	CSO-23	97°29.842'	18°56.784'	1.09	14.39	7.24	0.12	8.85	9.45	3.12	2.78	0.85
60.9	Cerro Mirador (cráter de explosión)	CSO-24	97°25.479'	18°58.644'	0.67	15.84	6.38	0.12	5.57	7.71	3.16	1.52	0.17

2) Identifica el patrón geoquímico representado espacialmente en el mapa y establece donde se localizan los grupos de manifestaciones volcánicas que corresponde a los datos de la tabla.



3) Completa el esquema, incluyendo dónde esperarías encontrar cada grupo de rocas. Si la sección no permite la representación establece la limitación espacial.

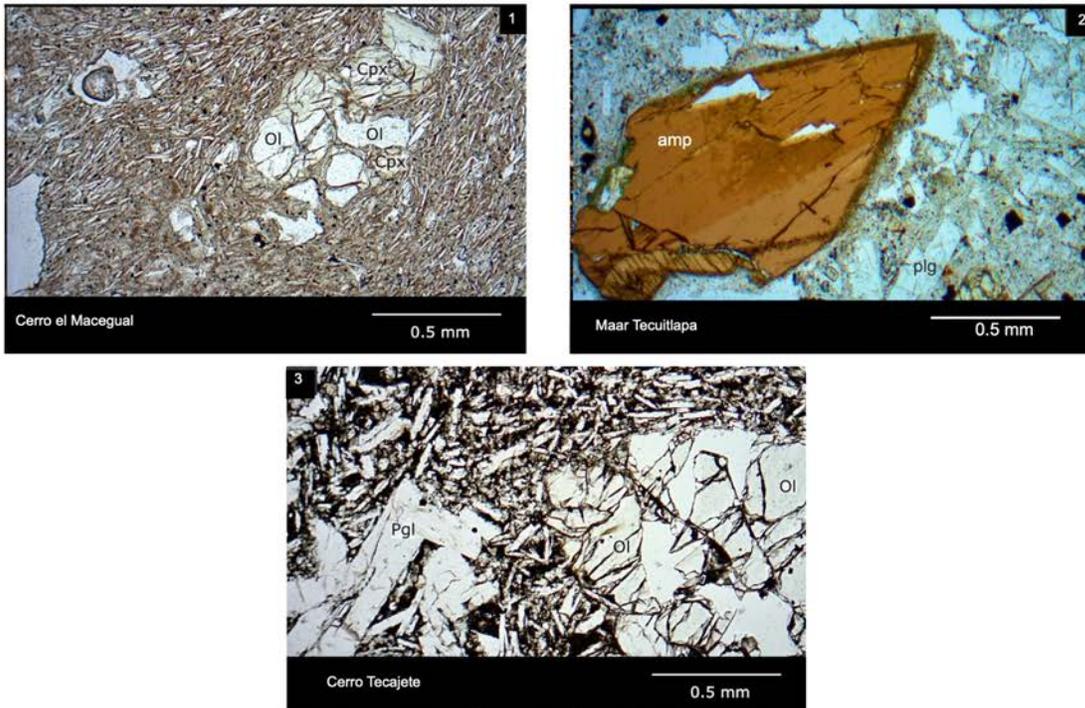
Figura 1. Modelo de capítulo para el "Atlas Interdisciplinario de México"; en esta figura se presentan materiales gráficos que ayudan a conducir actividades de análisis, síntesis para construir un aparato crítico. a) Muestra los recursos para estimular el análisis espacial. Datos geoquímicos de Becerra-Torres *et al.*, 2024 por publicar.

b)

Atlas Interdisciplinario de México Cuenca de Serdán Oriental, Puebla

Análisis escalar

1) Los datos geoquímicos reflejan procesos de distribución elemental, procesos a nano y micro escala. A continuación se presentan 3 microfotografías, representaciones a escala microscópica.



2) Construye un cuadro comparativo que permita relacionar la mineralogía y las microestructuras de las microfotografías, con la composición presentada en la tabla de datos geoquímicos; y su distribución espacial

Cuadro comparativo

Muestra	Características geoquímicas (escala molecular)	Mineralogía y microestructuras (micro escala)	Distribución en la CSO (macro escala)

Figura 1. Modelo de capítulo para el “Atlas Interdisciplinario de México”; en esta figura se presentan materiales gráficos que ayudan a conducir actividades de análisis, síntesis para construir un aparato crítico. b) En esta figura se ejemplifica con microfotografías la diversidad en la CSO y se busca estimular la observación a microescala y vincularla con las observaciones geoquímicas y la visualización espacial. Este material ejemplifica los instrumentos didácticos requeridos para desarrollar habilidades de orden superior que doten al estudiantado de herramientas para atender problemáticas globales. Ol: olivino; Cpx: clinopiroxeno; amp: anfíbol; plg: plagioclasa.

DISCUSIÓN

5.1 Discusión sobre la intervención pedagógica

La Figura 2b muestra que la mayor carga de calificación para los estudiantes previo a la intervención son los exámenes. Este mecanismo de evaluación se basa solo en el aprendizaje memorístico y no garantiza que el conocimiento perdure a lo largo del tiempo. Un considerable número de docentes asevera que mantener ese recurso es estratégico para que los estudiantes estudien y tengan el conocimiento fundamental de cada asignatura. Sin embargo, la Figura 2c muestra que, en retrospectiva y antes de la intervención educativa, la población encuestada declara que las actividades no tradicionales, activas y que promueven 'el saber hacer' son los mecanismos que mayor retención de conocimiento les han proporcionado. Las discusiones y ejercicios grupales de todas las actividades son las más eficientes y las más emuladas en la intervención educativa.

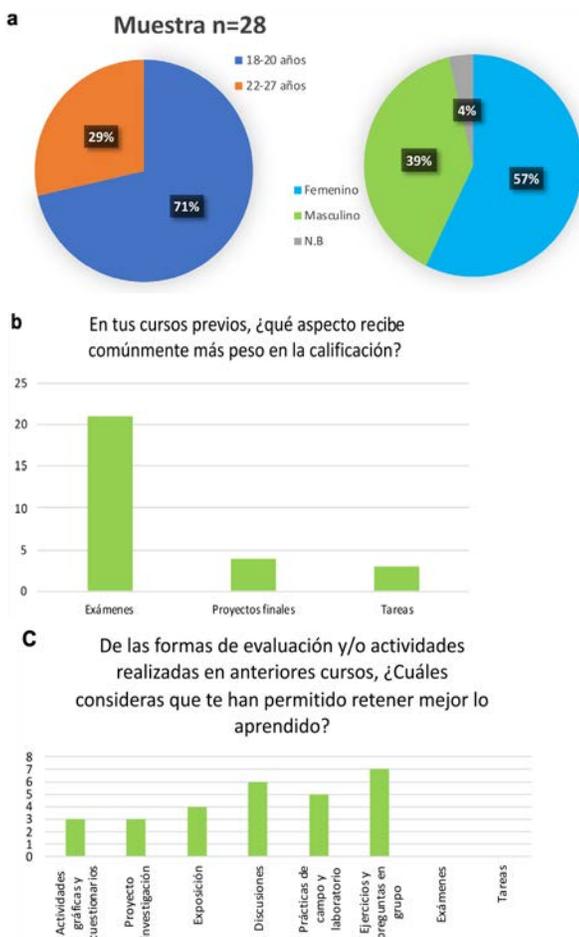


Figura 2. Muestra los datos presentados gráficamente y procesados de las encuestas llevadas a cabo al comienzo y al cierre de cada curso semestral. a) Exhibe la caracterización de la población que tomola encuesta. b) Los exámenes son los mecanismos de evaluación que más peso tienen para los docentes en la mayoría de los cursos de la Licenciatura en Ciencias de la Tierra. c) Los estudiantes muestran confirman que los exámenes y en general ninguno de los mecanismos de evaluación tradicionales son lo que mayor repercusión tienen en la retención del conocimiento.

El aprendizaje autónomo es un elemento crucial para construir conocimiento colectivo que enseñe al estudiantado a resolver las problemáticas complejas ambientales y globales con el desarrollo del PST. La Figura 3 exhibe que previamente a la intervención educativa revisar materiales de manera autónoma antes de clases no era una actividad común (en más del 50 % de los casos), por lo que evaluar con exámenes, al parecer evita dejar la responsabilidad del aprendizaje al estudiante, quien solo espera la revisión de las cátedras unidireccionales. Por el contrario, después de la intervención educativa la revisión de materiales de manera autónoma corresponde al 57% de la población, por lo que emplear un material que estimule el aprendizaje activo, como el presentado en el modelo del "Atlas Interdisciplinario de México" no solo construye habilidades de orden superior, sino que también promueve que el estudiantado asuma la responsabilidad de su aprendizaje y adquiera una visión personal y de calidad para su educación.

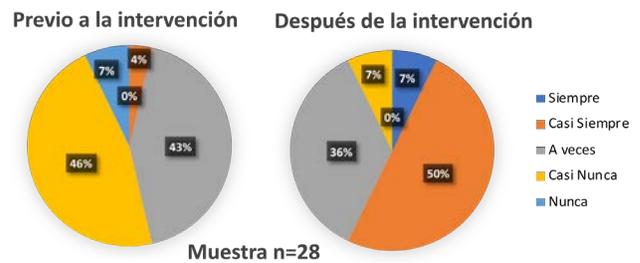


Figura 3. Gráfico que ilustra la respuesta a la pregunta "¿Revisas de manera autónoma los temas previos a una clase?" Los resultados son previos a la intervención educativa, la pregunta se hizo al inicio del semestre y después de la intervención educativa.

Una posibilidad de este cambio en los hábitos del estudiante es que durante el semestre en el tiempo de clase se realizaban actividades con material como el modelo del Atlas. Con esta planeación invertida, es decir actividades durante clase y estudio y revisión en casa, se genera un ambiente de constante retroalimentación y repaso donde solo es posible realizar la actividad de manera exitosa durante la sesión ¿Por qué sucede esto?. Estos escenarios son más realistas y vinculantes a los planteamientos profesionales que enfrentarán al término de su vida universitaria.

Es indispensable hacer notar que estas intervenciones requieren de un trabajo arduo por parte del docente, ya que debe preparar dos tipos de materiales: el de revisión autónoma como los materiales gráficos y los datos del "Atlas", en conjunto con las actividades conducidas que se desarrollarán en clase y serán acompañadas de una rúbrica. Asimismo, una constante conducción y dirección durante el desarrollo de la actividad.

CONCLUSIÓN

El modelo de capítulo para el "Atlas Interdisciplinario de México" es solo un ejemplo de los materiales e instrumentos pedagógicos que hemos preparado y que, desde nuestro punto de vista, se requieren para estimular el Pensamiento Sistemático de la Tierra. Por su parte, el análisis crítico para la solución de problemas y una educación de calidad que forme profesionales capaces de enfrentar los desafíos de la sociedad global y las crisis socioambientales.

Durante el primer año de implementación de estos mecanismos con estudiantes de la ENES-J se ha observado que se fomentan habilidades cruciales y de orden superior con mayor eficiencia que con los métodos tradicionales. Debemos extender este aprendizaje a la enseñanza de la sustentabilidad, ya que los problemas que se busca resolver requieren de la construcción colectiva de conocimiento y de la estimulación del aprendizaje autónomo entre el estudiantado de licenciatura, en conjunto futuras personas profesionistas dirigidas a atender las crisis climáticas, energéticas, hídricas y ambientales globales.

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto PAPIME PEI00623, financiado por la DGAPA-UNAM y dirigido por el Dr. Eduardo Becerra-Torres, por los recursos brindados para la realización de este trabajo. A los estudiantes Monserrat Santos Flores y Oscar Bravo Pérez por su colaboración. Los datos utilizados para el modelo y la práctica provienen de trabajos en los que colaboré bajo la responsabilidad de la Dra. Laura Mori.

Agradezco enormemente al equipo editorial de la revista Enseñanza y Comunicación de las Geociencias por el espacio y a los revisores por sus atentas correcciones que hicieron mejorar esta contribución.

REFERENCIAS

- Anderson, L. W., y Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives: complete edition*. Addison Wesley Longman, Inc.
- Becerra-Torres, E., Mori, L., Gómez-Tuena, A., Bravo-Pérez, B., The magmatic diversity of the Serdán-Oriental Basin as a key to understand the geochemical recycling and sub-arc mantle processes. In process.
- Brilha, J. (2016). Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review. *Geoheritage*, 8(2), 119–134. <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3>
- Canet, C. (2023). Is Mexico a "Megageodiverse" Country? In *Geoheritage* (Vol. 15, Issue 3). Springer. <https://doi.org/10.1007/s12371-023-00865-2>
- Change, G. (2004). *the Earth System: A planet under pressure*. Executive Summary, Utgiven Av International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP).
- Donner, R., Barbosa, S., Kurths, J., y Marwan, N. (2009). Understanding the Earth as a Complex System—recent advances in data analysis and modelling in Earth sciences. *The European Physical Journal Special Topics*, 174, 1–9.
- Esther, N., Matos, P., Setién, E., y li, Q. (2008). La interdisciplinariedad y la transdisciplinariedad en las ciencias: una mirada a la teoría bibliológico-informativa. *Acimed*, 18(4).
- García-Sánchez, L., Canet, C., Cruz-Pérez, M., Morelos-Rodríguez, L., Salgado-Martínez, E., y Corona-Chávez, P. (2021). A comparison between local sustainable development strategies based on the geoheritage of two post-mining areas of Central Mexico. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 9(4), 391–404. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2021.10.001>
- Herbert, B. E. (2006). Student understanding of complex earth systems. *Special Paper of the Geological Society of America*, 413(413), 95–104. [https://doi.org/10.1130/2006.2413\(07\)](https://doi.org/10.1130/2006.2413(07))
- Indorf, J. L., Benabentos, R., Daubenmire, P., Murasko, D., Hazari, Z., Potvin, G., Kramer, L., Marsteller, P., Thompson, K. V., Cassone, V. M., y Stanford, J. S. (2021). Distinct factors predict use of active learning techniques by pre-tenure and tenured STEM faculty. *Journal of Geoscience Education*, 69(4), 357–372. <https://doi.org/10.1080/10899995.2021.1927461>
- Jacobson, M., Charlson, R. J., Rodhe, H., y Orians, G. H. (2000). *Earth System Science: from biogeochemical cycles to global changes*. Academic Press.
- Kastens, K. A., y Manduca, C. A. (2012). *Earth and mind II: A synthesis of research on thinking and learning in the geosciences* (Vol. 486). Geological Society of America.
- Kozłowski, S. (2004). Geodiversity. The concept and scope of geodiversity. *Przeład Geologiczny*, 52(8).
- Manduca, C. A., y Mogk, D. W. (2006). *Earth and mind: How geologists think and learn about the earth* (Vol. 413). Geological Society of America.
- Meléndez Hevia, I. (2009). *Introducción y conceptos previos*. (Vol. 17, Issue 1).
- Orion, N. (2024). Geoscience education: Changing paradigms. In *Geoethics for the Future* (pp. 333–338). Elsevier.
- Palacio Prieto, J. L., Martínez, G. F. de C., y González, E. M. R. (2019). Geotrails in the mixteca alta UNESCO Global Geopark, Oaxaca, Mexico. *Cuadernos Geograficos*, 58(2), 111–125. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i2.7055>
- Paoli-Bolio, F. J. (2019). multi-inter y transdisciplinariedad. *Anuario de Filosofía y Teoría Del Derecho*, 13, 347–357.
- Piaget, J., Garcia, R., y García, R. (2006). *Filosofía de la Ciencia Hacia una lógica de significaciones*. www.gedisa.com
- Ram, M. P., Ajay, K. K., y Gopinathan Nair, A. (2020). *Geoscience Curriculum: Approach Through Learning Taxonomy and Outcome Based Education*. *Higher Education for the Future*, 7(1), 22–44. <https://doi.org/10.1177/2347631119886403>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F. S., Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., y Schellnhuber, H. J. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(2).
- Soltis, N. A., McNeal, K. S., Forbes, C. T., y Lally, D. (2019). The relationship between active learning, course innovation, and teaching Earth systems thinking: A structural equation modeling approach. *Geosphere*, 15(5), 1703–1721. <https://doi.org/10.1130/GES02071.1>

Manuscrito recibido: 2 de mayo de 2024
 Manuscrito corregido: 5 de octubre de 2024
 Manuscrito aceptado: 16 de octubre de 2024