

MATERIAL DIDÁCTICO QUE CONTRIBUYE A LA VISUALIZACIÓN TRIDIMENSIONAL DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS

Rodrigo Gutiérrez-Navarro^{1*}, María Isabel Vidal-Reyes²,
Gabriel Serrano-López³ y Elisa Fitz-Díaz⁴

¹Posgrado en Ciencias de la Tierra, Blvd. Juriquilla 3001, Juriquilla La Mesa, Querétaro, Universidad Nacional Autónoma de México. C.P. 76230 *rgutierrez@geociencias.unam.mx

²Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México, C.P. 04510. marisa.vr@ciencias.unam.mx

³Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México, C.P. 04510. gabotrop@gmail.com

⁴Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México, C.P. 04510. fitzde@gmail.com

RESUMEN

Se presentan tres laboratorios que fungen como apoyo en la enseñanza y aprendizaje de la visualización 3D de estructuras geológicas. Estos laboratorios cubren los siguientes temas: 1) Orientación de planos, líneas y proyecciones en la red estereográfica, 2) Descripción y análisis de fallas y 3) Descripción y análisis de pliegues. Los ejercicios didácticos que incluyen se complementan con recursos en línea como videos, modelos analógicos y animaciones, los cuales en su mayoría son gratuitos y en español. Este material fue diseñado e implementado durante los cursos virtuales de la clase de Geología Estructural a nivel licenciatura tanto de la Facultad de Ciencias como de la Facultad de Ingeniería, ambas de la UNAM, a lo largo de la emergencia sanitaria causada por el virus SARS-CoV-2 durante los años 2020 y 2021. Para evaluar de forma cualitativa la efectividad de este material, así como la experiencia del alumnado con el mismo, se aplicó una encuesta a 29 estudiantes. A partir de los resultados de la encuesta y la revisión de laboratorios resueltos por el alumnado, se discuten las ventajas y desventajas de los ejercicios propuestos. Este material resulta ser relevante en el acompañamiento de cursos teóricos de Geología Estructural y en fortalecer el desarrollo de habilidades de percepción espacial.

Palabras clave: Geología Estructural, red de Wulff, recursos didácticos, clases virtuales.

ABSTRACT

We present three practical-theoretical workshop manuals which aim to assist in the spatial visualization of 3D geological structures. The workshop manuals focused on three main topics: 1) Attitude of planes, lines and stereographic projections, 2) Faults description and analysis, and 3) Folds description and analysis. Exercises contained in these manuals are accompanied by free online resources published in Spanish, such as videos, analog models, and animations. This material was designed and implemented during the virtual courses of the Structural Geology class at the undergraduate level of both the Sciences

Faculty and Engineering Faculty at UNAM, throughout the pandemic caused by the SARS-CoV-2 virus during the years 2020 and 2021. In order to evaluate the quality of these materials, we applied a survey and analyzed the answers from 29 former students. Considering these results, along with the review of workshops solved by the students, we expose the advantages and disadvantages of the proposed material and further discuss their impact on the development of spatial skills for Earth Science students.

Keywords: Structural Geology, Wulff net, teaching resources, virtual classes.

INTRODUCCIÓN

La Geología Estructural estudia la geometría, estructuras y texturas que resultan de la deformación de las rocas al estar sometidas a un estado de esfuerzos en diferentes ambientes tectónicos (Van der Pluijm y Marshak, 2004). Como parte de la educación básica en Ciencias de la Tierra, la Geología Estructural constituye una de las asignaturas básicas en la formación de los y las estudiantes para su desarrollo profesional. El aprendizaje en esta disciplina requiere de la práctica de la visualización espacial en donde se relacionan destrezas visuales con el uso de la imaginación (Kastens *et al.*, 2009). Específicamente se busca el fortalecimiento de habilidades cognitivas tales como: 1) análisis de relaciones espaciales, 2) manipulación espacial, y 3) habilidad visual penetrativa (Titus y Horsman, 2009).

Las estructuras geológicas no ocurren de manera fortuita ni aleatoria en el espacio, sino que se desarrollan de forma conjunta en una región, por lo que su geometría y su orientación son relevantes para descifrar la historia de deformación de un área específica (Fossen, 2022). La geometría aparente de las estructuras depende de la perspectiva desde dónde se observan y de sus dimensiones. De tal forma que habilidades como la rotación mental, permiten imaginar

su geometría actual, su evolución y sus relaciones espaciales con otras estructuras (Shipley *et al.*, 2013).

El estudio de las estructuras comprende varios niveles de análisis, para los cuales es necesario que los y las estudiantes adquieran una serie de conocimientos teóricos y prácticos que les permitan una apropiada observación, descripción, medición e interpretación cinemática y geodinámica de las estructuras (Fossen, 2016). Para la documentación e incluso la clasificación de algunas estructuras, éstas se reducen a formas simples como planos y líneas que ocurren de manera concreta en el espacio tridimensional. Por ello, el buen manejo de herramientas como la brújula, las proyecciones en la red estereográfica y los nomogramas, junto con las habilidades espaciales, se tornan fundamentales para el reconocimiento, descripción y representación de las estructuras a diferentes escalas.

Durante la emergencia sanitaria causada por el virus SARS-CoV-2 (años 2020 a 2022) los cursos de Geología Estructural se impartieron de forma virtual. Ello supuso un reto para la enseñanza y aprendizaje de conceptos abstractos como: la orientación de objetos en el espacio tridimensional y su proyección en dos dimensiones, así como la comprensión y visualización de diferentes estructuras geológicas. Además, el proceso educativo a distancia fue limitado por la falta de prácticas escolares que permiten que el alumnado se familiarice con estructuras comunes y su apariencia en muestras de mano o en un afloramiento. En este contexto, notamos la poca oferta de material audiovisual veraz, público, gratuito y lo más importante, disponible en español, así como de aplicaciones digitales y contenidos hechos por docentes para visualizar y comprender estructuras.

Para solventar las limitaciones en el proceso enseñanza-aprendizaje a distancia, se reestructuró el contenido y el orden del curso, se intensificó la parte práctica y se enriqueció el material didáctico para lograr un proceso de enseñanza-aprendizaje fluido. En este trabajo mostramos parte de los materiales didácticos compilados y desarrollados, los cuales cubren la parte práctica relacionada con la visualización espacial de estructuras geológicas. Presentamos tres laboratorios enfocados en tres temáticas: 1) Orientación de planos, líneas y proyecciones en la red estereográfica; 2) Descripción y análisis de fallas y 3) Descripción y análisis de pliegues. Cada uno contiene una síntesis introductoria del tema, una serie de ejercicios prácticos y material didáctico de consulta que incluye: fotografías, videos tutoriales propios y públicos de otras instituciones educativas, programas de cómputo para la visualización y análisis de datos, entre otros ([Anexo 1: Laboratorio 1. Planos y rectas](#); [Anexo 2: Laboratorio 2. Fallas](#); [Anexo 3: Laboratorio 3. Pliegues](#)). Así mismo, exponemos los objetivos didácticos que cubren los ejercicios propuestos.

Cabe mencionar que estos 3 laboratorios forman parte de una serie de diez laboratorios, de los cuales, los siete restantes abordan los siguientes temas: 1) esfuerzos y círculo de Mohr, 2) deformación en dos y tres dimensiones, 3) estimación de la deformación, 4) reología, 5) foliaciones y lineaciones, 6) microtectónica, y 7) secciones geológicas.

Con el fin de evaluar si los laboratorios cubren o no los objetivos didácticos planteados, se analizaron ejercicios resueltos por el estudiantado. Estos laboratorios también fueron evaluados mediante una encuesta en la que recabamos la opinión del estudiantado respecto al material didáctico y al curso de Geología Estructural en general. Finalmente, discutimos las fortalezas y debilidades tanto del material propuesto como de la dinámica con la que se llevó a cabo la parte práctica del curso.

Consideramos que el material presentado en este trabajo es una valiosa herramienta para otras y otros docentes de Geología Estructural, dado que las nuevas generaciones están muy familiarizadas con herramientas digitales y esta propuesta es una forma de llevar la Geología Estructural a un ambiente más dinámico para el estudiantado. De igual forma, al compartir estos recursos buscamos fortalecer, diversificar y enriquecer los instrumentos de enseñanza y aprendizaje disponibles, así como disminuir la brecha educativa en Geología Estructural entre los países de habla hispana y los de habla inglesa.

MATERIALES Y MÉTODOS

En los siguientes puntos se resume el proceso que se siguió para la elaboración de los laboratorios, así como su posterior implementación y evaluación:

- a. Planteamiento de los laboratorios.
- b. Elaboración y recopilación de recursos didácticos, accesibles, gratuitos, claros, útiles, visuales y que no requieren de recursos computacionales robustos.
- c. Integración de los laboratorios con una introducción y recursos didácticos.
- d. Impartición de los laboratorios al alumnado de forma conjunta con el curso teórico (la frecuencia con que se resolvieron los laboratorios fue de un laboratorio cada semana o cada dos semanas).
- e. Evaluación y análisis de los laboratorios resueltos.
- f. Aplicación de encuestas al alumnado para recibir retroalimentación respecto a los laboratorios y análisis de las respuestas obtenidas.
- g. Reflexiones por parte del profesorado y consideraciones para futuros cursos.

Diseño y conceptualización de los laboratorios

La elaboración de los laboratorios requirió plantear ejercicios que cubrieran temáticas particulares de forma integral, completa y acorde a los temas abordados en las clases, y que además permitieran al alumnado desarrollar habilidades específicas para la resolución de problemas relacionados con la Geología Estructural. La estructura de estos laboratorios está pensada como una guía para que el o la estudiante resuelva los ejercicios de manera autodidacta, en ellos se indica con claridad cada uno de los pasos que se deben seguir, por ejemplo, cómo instalar y usar los *softwares* empleados. Además, se provee de videos tutoriales y ligas al material de consulta como una pauta para la resolución de los ejercicios propuestos.

Estos laboratorios emplean múltiples formas de aprendizaje mediante ejercicios que estimulan los diferentes sentidos, emplean herramientas visuales, manuales y de manipulación, así mismo se fomenta el desarrollo de habilidades matemáticas y lingüísticas. En la Tabla 1 se señalan los objetivos didácticos específicos para cada uno de los tres laboratorios. Así mismo, se indican los objetivos específicos que se pretenden abordar en sus diferentes secciones. De manera adicional se señalan los recursos didácticos utilizados en cada apartado.

El material de apoyo y, principalmente, los videos están diseñados como guías prácticas y recursos didácticos en donde se retoma la teoría vista en el aula y se enfoca en proponer sugerencias para la resolución práctica de los ejercicios propuestos en los laboratorios (Tabla 1).

Tabla 1. Objetivos generales y específicos de los ejercicios agrupados en los laboratorios implementados.
***material propio. ** material elaborado por otros autores.**

Laboratorio	Objetivos generales	Objetivos específicos	Recursos didácticos
Laboratorio 1 Planos y Rectas Parte 1	Usar las notaciones más comunes de planos y practicar la conversión entre diferentes convenciones de nomenclatura de planos.	-Reconocer elementos geométricos para caracterizar la orientación de un plano en el espacio. -Comprender las diferentes notaciones y convenciones para describir la orientación de un plano de forma numérica.	-Esquemas -Modelos analógicos -Cálculos matemáticos -Google Classroom -Videos YouTube: * https://www.youtube.com/watch?v=MY4K-kZ-EZA&t=19s&ab_channel=gabotrop .
Laboratorio 1 Planos y Rectas Parte 2	Comprender la diferencia entre echado real y echado aparente. Calcular el echado real y aparente con el uso del nomograma y de relaciones trigonométricas.	-Comprender y visualizar la apariencia de un mismo plano proyectado en planos con diferentes orientaciones. -Conocer las herramientas que permiten resolver este problema de forma geométrica y trigonométrica. -Aplicar el concepto de echado real y echado aparente en la construcción de secciones geológicas a partir de un mapa.	-Modelos analógicos -Cálculos matemáticos -Elaboración de esquemas con lápiz, escuadras, transportador y colores -Google Classroom
Laboratorio 1 Planos y Rectas Parte 3	Caracterizar planos y líneas en casa con aplicaciones móviles.	-Caracterizar la disposición espacial de diversos objetos en casa respecto a los puntos cardinales. -Proyectar los planos y líneas en mapas y secciones esquemáticas.	-Elaboración de esquemas con lápiz, escuadras, transportador y colores -Aplicaciones móviles y mapas digitales -Google Classroom -Videos YouTube: uso de la brújula: ** https://www.youtube.com/watch?v=FbXhooadhZw&ab_channel=GEOCOAST ** https://www.youtube.com/watch?v=hsIDBdfk9CM&ab_channel=BionicaTecnologia * https://www.youtube.com/watch?v=1KbdZe1TA7U&ab_channel=gabotrop * https://www.youtube.com/watch?v=LrPbSGq3720&ab_channel=ErickMorales
Laboratorio 1 Planos y Rectas Parte 4	Usar de la red estereográfica para la visualización tridimensional y para calcular relaciones angulares.	-Representar planos y líneas en redes estereográficas. -Relacionar la notación numérica de planos y líneas con su representación gráfica en la red estereográfica. -Calcular relaciones angulares entre planos y líneas.	-Redes estereográficas -Google Classroom -Videos YouTube: uso de la red estereográfica: * https://www.youtube.com/watch?v=SIWHJ5wyPgY&t=1s * https://www.youtube.com/watch?v=l7OgWPAthg&t=2s&ab_channel=gabotrop * https://www.youtube.com/watch?v=oiNDx18sdY&ab_channel=gabotrop * https://www.youtube.com/watch?v=UpTzoZ2gowQ&ab_channel=gabotrop * https://www.youtube.com/watch?v=BIM8PJTIG6o&t=1s&ab_channel=ErickMorales * https://www.youtube.com/watch?v=Nmv_SgR7Gw4&t=183s&ab_channel=ErickMorales
Laboratorio 2 Fallas Parte 1	Usar diagramas de roseta y la red estereográfica para el análisis de fracturas.	-Proyectar conjuntos de datos estructurales en la red estereográfica utilizando programas computacionales. -Analizar rosetas para identificar familias de fracturas.	-Red estereográfica -Roseta de fracturas -Lecturas ** http://www.rmcm.unam.mx/index.php/rmcm/article/view/1582 -Google Classroom -Videos tutoriales en YouTube -Programas de cómputo gratuitos y disponibles en línea: ** https://www.cesdb.com/georose.html ** https://www.rickallmendinger.net/stereonet * https://youtu.be/sunBJV5uill
Laboratorio 2 Fallas Parte 2	Analizar modelos analógicos que muestran el desarrollo de sistemas de fallas.	-Identificar estructuras mayores y menores asociadas con distintos ambientes tectónicos y describir su desarrollo. -Observar y analizar la distribución espacial y temporal de las estructuras. -Asociar los modelos analógicos con ejemplos en la naturaleza.	-Google Classroom -Videos en YouTube: modelos analógicos ** https://www.youtube.com/watch?v=7yPUApR_NbE ** https://www.youtube.com/watch?v=skhs55dATIs&t=69s ** https://www.youtube.com/watch?v=dqozO0DI3gU ** https://www.youtube.com/watch?v=c6BzOizT3xs

Tabla 1 (Cont.). Objetivos generales y específicos de los ejercicios agrupados en los laboratorios implementados. *material propio. ** material elaborado por otros autores.			
Laboratorio	Objetivos generales	Objetivos específicos	Recursos didácticos
Laboratorio 2 Fallas Parte 3	Familiarizarse con el aspecto y geometría de las zonas de cizalla.	-Conocer la apariencia de rocas de falla formadas bajo distintas condiciones reológicas. -Observar rocas de falla desarrolladas en distintos protolitos. -Describir rocas de falla a distintas escalas de observación.	-Fotografías de estructuras -Lecturas -Elaboración de esquemas -Google Classroom
Laboratorio 3 Pliegues Parte 1	Visualizar y clasificar pliegues a partir de la orientación de su plano axial y eje de pliegue.	-Identificar cómo se orientan el eje de pliegue y el plano axial. -Entender las relaciones espaciales que guardan dichos elementos y su representación en la red estereográfica..	-Elaboración de esquemas -Materiales análogos
Laboratorio 3 Pliegues Parte 2	Visualizar la amplitud y longitud de onda de un tren de pliegues.	-Comprender los conceptos de amplitud y longitud de onda. -Relacionar dichos conceptos con la intensidad de deformación.	-Elaboración de esquemas
Laboratorio 3 Pliegues Parte 3	Describir y clasificar pliegues a partir de la caracterización de sus elementos geométricos y con ayuda de la proyección de éstos en la red estereográfica.	-Identificar y describir los elementos que conforman los pliegues y cómo se miden en campo. -Representar y analizar en la red estereográfica el plano axial, eje del pliegue y flancos. -Utilizar el método de las isógonas (clasificación de Ramsay) para resaltar variaciones de forma y estilo de capas plegadas.	-Fotografías de estructuras -Red estereográfica -Google Classroom -Lecturas -Videos tutoriales en YouTube * https://youtu.be/ID9BFFpSMJK -Software disponible en línea ** https://www.rickallmendinger.net/stereonet
Laboratorio 3 Pliegues Parte 4	Revisar el concepto de vergencia en una serie de pliegues y cómo determinarla. Clasificar tipos y formas de pliegues.	-Comprender el concepto de vergencia, asimetría de pliegues y envolvente de plegamiento. -Describir y clasificar pliegues con base en el ejercicio anterior.	-Elaboración de esquemas -Lecturas -Google Classroom

Resolución de los laboratorios

Los laboratorios fueron resueltos en aulas virtuales de la plataforma Zoom durante el tiempo de las clases, en equipos de dos a tres personas y con asesoría del profesorado. Cada equipo tuvo una semana para entregar sus resultados mediante la plataforma "Google Classroom". Los entregables fueron recibidos en formato digital, incluyendo cálculos y diagramas hechos a mano o a computadora ([Anexo 5](#)). Para ilustrar la resolución de estos laboratorios se incluyen ejemplos de laboratorio bien resueltos entregados por el alumnado, y otros con importantes limitaciones ([Anexo 5](#)).

Evaluación de los laboratorios

Con el fin de evaluar de forma cualitativa en qué grado se cumplieron los objetivos generales y específicos que se plantearon al diseñar cada ejercicio, se revisaron los laboratorios resueltos por el alumnado. Durante la revisión se destacaron cuáles fueron las mayores dificultades que se tuvieron al resolver los laboratorios, y qué ejercicios fueron resueltos satisfactoriamente por la mayor parte del alumnado. Sin embargo, no se compararon los laboratorios resueltos en modalidad virtual con los resueltos en modalidad presencial por grupos de cursos anteriores. Ello debido a que el material original fue rediseñado para su impartición a través de la pantalla (2D) y a que en los cursos en línea únicamente se tuvo acceso a las estructuras a través de fotos, videos y diagramas, por lo que consideramos que estas experiencias educativas no son comparables.

Para obtener retroalimentación del alumnado se realizó una encuesta con 16 preguntas en la que evaluamos las fortalezas y la pertinencia de los 10 laboratorios y recursos de consulta. En esta consulta buscamos también conocer su opinión respecto a la dinámica de los cursos virtuales incluyendo la labor docente, así como su percepción de los ejercicios en su proceso de aprendizaje. Por esta razón algunas respuestas pueden estar sesgadas, ya que algunos temas abordados en el curso son complejos como esfuerzos, deformación y reología. La encuesta estuvo disponible por tres semanas y participaron 29 estudiantes pertenecientes a cuatro grupos diferentes a los que se impartió el curso vía remota, entre los años 2020 y 2022.

RESULTADOS

Laboratorios

En este trabajo se presentan 3 laboratorios de una serie de 10 que pueden consultarse en: [Anexo 1: Laboratorio 1. Planos y rectas](#); [Anexo 2: Laboratorio 2. Fallas](#); [Anexo 3: Laboratorio 3. Pliegues](#).

A partir del análisis de la calidad y completez en la resolución de los laboratorios por parte del estudiantado, nos es posible obtener una aproximación cualitativa a su contribución y eficacia cubriendo los objetivos didácticos propuestos para cada ejercicio.

En general, se observa que los y las estudiantes resuelven de manera correcta y completa aquellos ejercicios que consisten en cálculos matemáticos cometiendo algunos errores puntuales. De igual forma, trabajaron bien con la red estereográfica tanto al graficar planos, rectas y hacer cálculos entre estos elementos, como al analizar fallas y pliegues con esta herramienta.

Sin embargo, a pesar de realizar bien las cuentas y las descripciones de estructuras, es evidente que el estudiantado encuentra dificultades en relacionar conceptos abstractos con estructuras reales, como por ejemplo, relacionar las partes de los pliegues con los planos y rectas que los representan en la red. Otra evidencia de esto mismo yace en el hecho de que algunos esquemas de estructuras, como son secciones geológicas, o bien, la descripción de litologías en las muestras de pliegues carecen de sentido geológico y los conceptos que emplean parecen desarticulados.

En la mayoría de los laboratorios los ejercicios se resolvieron en su totalidad, aunque algunos no fueron concluidos. En estos casos notamos que la complejidad de los ejercicios es más elevada, o bien, que las instrucciones eran deficientes, por lo que los laboratorios que se presentan en este artículo ya fueron modificados para que las instrucciones sean más claras.

Encuesta

Se recibieron 29 respuestas por parte de las y los estudiantes a la encuesta planteada, las cuales pueden consultarse en el material suplementario del [Anexo 4](#). El total de estudiantes que cursó la asignatura fue de 82 personas, por lo que las 29 respuestas recibidas corresponden con un 34 % de participación.

De acuerdo con las respuestas recibidas, el estudiantado considera que el contenido de la asignatura fue cubierto de forma satisfactoria mediante la incorporación de los laboratorios y los múltiples recursos didácticos que acompañan estas actividades. También fue relevante la resolución de ejercicios en equipos pequeños, la aplicación de evaluaciones breves y frecuentes a lo largo del semestre, así como la retroalimentación detallada que les fue brindada tanto en la solución de los laboratorios como en los exámenes.

Con frecuencia se menciona en las respuestas de la encuesta, que el material didáctico utilizado les permitió desarrollar habilidades de percepción espacial, mismas que han sido de gran ayuda en el reconocimiento de estructuras en campo y para reforzar los conceptos que se explican en las lecturas de ésta y de otras asignaturas. Además, el alumnado menciona que los cursos fueron dinámicos, completos y bien organizados, y que las explicaciones del profesorado fueron claras y bien estructuradas. Esto en conjunto les motivó a estar atentos y participativos, a hacer reflexiones más profundas e integrales sobre los temas presentados en clase, y en última instancia, a hacer propio el conocimiento.

Con respecto a los laboratorios, los y las alumnas comentan que los ejercicios resueltos les permitieron asentar la teoría revisada en clase con antelación, y ponerla en práctica, así como afianzar habilidades espaciales. El tiempo de elaboración osciló entre dos y ocho horas, y su resolución les representó una dificultad entre media y alta. Es una respuesta común que la carga de trabajo fue pesada y que hubieran preferido que los laboratorios fuesen más breves, aunque se incrementaran en número o bien, que tuvieran más tiempo para entregarlos. En general, las indicaciones de los ejercicios se consideran claras, aunque la redacción podría mejorar.

Por otro lado, las respuestas recibidas sugieren que los materiales didácticos adicionales con que se acompañó el curso fueron útiles.

En particular, les resultó de gran ayuda la consulta de videos, el análisis detallado de fotografías de estructuras, el empleo de la red estereográfica para resolver problemas estructurales y, en menor proporción, la elaboración de dibujos y esquemas. Respecto al análisis de fotografías de estructuras, se expresa con mucha frecuencia que éstas les ayudan a aterrizar cómo se ven las estructuras en afloramiento y que les fue posible reconocerlas y abordarlas con seguridad.

En cuanto a los videos, se menciona que es ventajoso que éstos sean cortos y claros, que resuelvan ejercicios paso a paso iniciando con una pequeña introducción, así como el hecho de que pueden reproducirlos muchas veces y retroceder o avanzar a su gusto. Estas tres ventajas resultan en un buen acompañamiento de la teoría impartida en clase y les permiten culminar de forma exitosa sus ejercicios. En contraste, consideran como desventajas que algunos videos están en inglés y que no se aborden otros conceptos más amplios relacionados con el tema.

ANEXOS

[Anexo 1: Laboratorio 1. Planos y rectas](#)

[Anexo 2: Laboratorio 2. Fallas](#)

[Anexo 3: Laboratorio 3. Pliegues](#)

[Anexo 4: Resultados de la encuesta](#)

[Anexo 5: Ejemplos de resolución de laboratorios](#)

DISCUSIÓN

Al diseñar el material se pretendió que los alumnos desarrollaran distintas habilidades visuales y espaciales y obtuvieran las bases para describir estructuras geológicas. También se buscó que la información fuera clara, entretenida y directa. En esta sección discutimos los aciertos y áreas en las que puede mejorar el material, que se distinguieron a partir de la encuesta y la revisión de laboratorios resueltos, tomando en cuenta los objetivos específicos planteados para cada ejercicio (Tabla 1 y [Anexo 4](#)). De manera conjunta, consideramos pertinente incluir la experiencia que tuvimos como docentes durante la interacción y trabajo virtual del alumnado con este material. A pesar de que los resultados no son cuantificables, notamos que las evaluaciones reflejan el entendimiento de conceptos complejos y un buen desarrollo de habilidades espaciales.

Las experiencias compartidas por el alumnado y las propias nos permitieron identificar elementos ventajosos para la enseñanza y el aprendizaje de habilidades espaciales. A grandes rasgos, es evidente que el material didáctico presentado cumple su función de complementar los cursos teóricos, además de ser suficiente y pertinente. Los laboratorios de manera conjunta permiten a los y las estudiantes afianzar su conocimiento teórico y resolver cuestiones prácticas de manera exitosa, como describir estructuras, manipular datos espaciales de planos y líneas, proyectarlos en la red estereográfica y analizar conjuntos de datos.

Por otro lado, elementos como los modelos analógicos, las estructuras en papel, y la medición de la orientación de objetos cotidianos en casa fortalecen las habilidades espaciales del alumnado, a través de la manipulación y visualización directa de cuerpos en tres dimensiones. Estos análisis resultan ser una herramienta relevante que motiva al estudiante al razonamiento analítico, a la indagación

y al pensamiento de orden superior para la resolución de problemas prácticos. Además, el análisis de estructuras mediante esquemas y fotografías, les permite relacionar conceptos abstractos con estructuras geológicas reales, lo cual ayuda a cubrir una de las mayores deficiencias que se encontraron en las respuestas de los alumnos.

Es muy importante resaltar la relevancia del trabajo en brigadas de dos a tres integrantes, ya que se fomenta el trabajo en equipo, la verbalización de ideas y conceptos abstractos, la discusión crítica y la reflexión colectiva. Los espacios pequeños de diálogo dan confianza al alumnado y permiten a los profesores brindar una asesoría más cercana y personalizada.

Durante el diseño y redacción de los laboratorios, se buscó que la información contenida fuera suficiente, completa y clara para que pudieran ser resueltos de manera autónoma. Consideramos que con las indicaciones es necesario revisar y enriquecer continuamente su redacción y contenido. Además, las respuestas de los y las alumnas acusan un problema en la integración de conceptos de diferentes áreas de la Geología al trabajar con estructuras geológicas, por lo que creemos que es importante reforzar este conocimiento previo en los cursos teóricos o bien recomendar lecturas afines.

CONCLUSIONES

La enseñanza virtual en Geología Estructural durante la pandemia por el virus SARS-CoV-2 presentó un reto tanto para docentes como para estudiantes. En este contexto, los laboratorios para el aprendizaje autónomo propuestos en este trabajo atendieron aspectos prácticos relacionados con el desarrollo de habilidades de visualización espacial. A partir de las encuestas respondidas y la revisión de los laboratorios resueltos es evidente que la interacción del alumnado con materiales y dinámicas inmersivas resultó en una experiencia enriquecedora.

Este material, aunque perfectible, es completo, pertinente, claro y utiliza información veraz y de calidad, publicada en español, con lo cual se enriquece la oferta de recursos didácticos disponibles de manera gratuita para docentes de Geología Estructural. Así mismo, tanto la diversidad de recursos, como la claridad del material fortalecen las habilidades de resolución de problemas y pensamiento abstracto espacial.

Los recursos presentados tienen algunas debilidades que pretendemos revisar y corregir continuamente a partir de la retroalimentación de los y las usuarias de este material. Se puede mejorar a través del uso de fotografías de afloramientos tridimensionales. Así mismo, debido a la poca oferta de material, fue imprescindible utilizar videos y *software* en inglés, lo cual puntualmente obstaculiza y retrasa el entendimiento de los ejercicios para algunos estudiantes. Con esto queremos resaltar la necesidad y responsabilidad que tenemos como docentes de compartir y generar material en español, o bien de traducir textos y audios, para con nuestras comunidades estudiantiles. Consideramos de gran importancia que otros docentes prueben este material en sus cursos y nos compartan sus comentarios para su mejora. Así mismo, invitamos a la comunidad de Geología Estructural de habla hispana a desarrollar y compartir su material de enseñanza a favor de la educación pública.

Finalmente, notamos que la enseñanza acompañada de múltiples recursos permite abrir un canal de aprendizaje más fluido. Los

laboratorios presentados cumplen su función de implementar varias técnicas de enseñanza-aprendizaje y de estimular a las personas a imaginar y comprender, tanto conceptos abstractos, como estructuras propias de esta rama de la Geología.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al alumnado que utilizó los materiales presentados en este trabajo a lo largo de los cursos virtuales por sus comentarios y participación activa al responder la encuesta. De igual forma agradecemos las sugerencias pedagógicas de Jessica Evangelista quien nos ayudó a plantear la encuesta, así como los objetivos didácticos de los laboratorios. También agradecemos a Aura Martínez y Alberto Vásquez, profesores que compartieron sus vivencias durante la impartición de estos cursos. Finalmente, agradecemos las revisiones y sugerencias de Mónica Guadalupe Ramírez Calderón, Gilberto Silva Romo, así como de las editoras y correctoras de estilo de la revista que ayudaron a mejorar sustancialmente este manuscrito

REFERENCIAS

- Fossen, H. (2016). *Structural Geology*. 2nd Ed. Cambridge University Press.
- Fossen, H. (2022). *Structural Geology*. E-modules. Recuperado de: <https://folk.uib.no/nglhe/StructuralGeoBookEmodules2ndEd.html>
- Kastens, K. A., Manduca, C. A., Cervato, C., Frodeman, R., Goodwin, C., Liben, L. S., y Titus, S. (2009). How geoscientists think and learn. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 90(31), 265-266.
- Shiple, T. F., Tikoff, B., Ormand, C., y Manduca, C. (2013). Structural geology practice and learning, from the perspective of cognitive science. *Journal of Structural Geology*, 54, 72-84.
- Titus S. y Horsman E. (2009). Characterizing and Improving Spatial Visualization Skills. *Journal of Geoscience Education*, 57:4, 242-254.
- Van der Pluijm, B. A., y Marshak, S. (2004). *Earth structure*. New York

Manuscrito recibido: 1 de octubre de 2022

Manuscrito corregido-recibido: 30 de noviembre de 2022

Manuscrito aceptado: 5 de diciembre de 2022