

REVISTA CIENTÍFICA DE
INGENIERÍAS
Y ARQUITECTURA

VOLUMEN 3 NÚMERO 2

INDICE

Carta editorial	5
Centro de Cultura Ambiental Ñu Dhute para la enseñanza del cuidado del medio natural y la afluencia turística sostenible en la población de San Andrés Ixtlahuaca, Oaxaca	9
Structural Displacements Caused by Earthquakes: A Practical Application of Differential Equations	20

Aviso de Privacidad

Revista Científica de Ingenierías y Arquitectura

La Universidad La Salle Oaxaca A.C., con domicilio en Camino a San Agustín No. 407, Colonia Santa Cruz Xoxocotlán Oaxaca, Oaxaca, C.P. 71230, es responsable del tratamiento de sus datos personales en términos de lo establecido por el artículo 3º fracción XIV de la Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de Particulares (LFPDPPP). Los datos personales generales recabados de manera electrónica en este formulario como lo son: nombre completo, correo electrónico personal e institución o lugar de procedencia, serán utilizados para el llenado del formulario de registro que le permitirá tener acceso para publicar o proponer artículos para su exposición en "La Revista Científica de Ingenierías y Arquitectura" de la Universidad La Salle Oaxaca. Si usted tiene alguna duda sobre el manejo de los datos personales o desea ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación u oposición, o bien quiere conocer nuestro aviso de privacidad integral, puede hacerlo entrando a nuestro sitio web: [web www.ulsaoaxaca.edu.mx](http://web.www.ulsaoaxaca.edu.mx).

Información legal

Revista Científica de Ingenierías y Arquitectura, año 3, no. 1, Diciembre 2024, es una publicación semestral (“Enero-Junio”, “Julio-Diciembre”) editada por la Universidad La Salle Oaxaca, A.C. Camino a San Agustín 407, Santa Cruz Xoxocotlán, C.P. 71230, Oaxaca, México. Tel. (951) 52 9333. Página electrónica de la revista: <https://revistas.ulsaoaxaca.edu.mx/RCIA> Editor responsable: Arq. Karime Yasmín Hernández Matus (correo electrónico: revistacientifica.eia@ulsaoaxaca.edu.mx) Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título 04-2024-030511234100-102, ISSN: 3061-7154, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Arq. Karime Yasmín Hernández Matus, revistacientifica.eia@ulsaoaxaca.edu.mx, Universidad La Salle Oaxaca, A.C. Camino a San Agustín 407, Santa Cruz Xoxocotlán, C.P. 71230, Oaxaca, México. Fecha de la última modificación, 15 de diciembre de 2024

Carta editorial

Apreciables lectores:

Es un placer presentarles el nuevo número de nuestra Revista Científica de Ingeniería y Arquitectura, un espacio dedicado a la difusión de investigaciones y propuestas que buscan resolver problemáticas urgentes desde un enfoque interdisciplinario. En esta edición, abordamos dos temas de gran relevancia para el desarrollo sostenible y la innovación tecnológica: la creación del Centro de Cultura Ambiental Ñu Dhute en San Andrés Ixtlahuaca, Oaxaca, y la enseñanza de ecuaciones diferenciales en la ingeniería como herramienta para modelar sistemas físicos complejos. Ambos temas, aunque aparentemente distantes, convergen en un mismo propósito: la búsqueda de soluciones prácticas y sostenibles que mejoren la calidad de vida de las comunidades y fortalezcan su capacidad para enfrentar desafíos ambientales y estructurales.

En los últimos años, la conciencia ambiental ha experimentado un crecimiento significativo en México y en el mundo. Autores como Sachs (2015) y Rockström et al. (2009) han destacado la importancia de adoptar un enfoque integral para abordar las crisis ambientales, que incluya no solo la conservación de los recursos naturales, sino también la educación y la participación comunitaria. Sin embargo, como señala Escobar (2018), la falta de organización y coordinación entre los actores involucrados ha obstaculizado el progreso de iniciativas clave, como talleres de educación ambiental, campañas de reforestación y proyectos de turismo sostenible. Este es precisamente el caso de San Andrés Ixtlahuaca, una comunidad en Oaxaca que enfrenta desafíos como la escasez de agua, el crecimiento poblacional desordenado y los altos índices de pobreza.

Ante esta situación, la propuesta del Centro de Cultura Ambiental Ñu Dhute surge como una solución integral que busca promover la educación ambiental y el turismo sostenible. Este proyecto, inspirado en modelos como los propuestos por Leff (2014) en su enfoque de “ecología política”, tiene como objetivo mejorar la percepción comunitaria y generar nuevas perspectivas de desarrollo. El centro no solo será un espacio para la conservación de los recursos naturales, sino también una plataforma para la innovación social y educativa. Al integrar actividades turísticas ordenadas y gestionar proyectos estudiantiles enfocados en la conciencia ambiental, el Centro de Cultura Ambiental Ñu Dhute se convierte en un catalizador para el desarrollo sostenible de la región.

Por otro lado, en el ámbito de la ingeniería, presentamos un trabajo que destaca la importancia de la enseñanza de ecuaciones diferenciales como herramienta para modelar sistemas físicos reales. Autores como Boyce y DiPrima (2012) han señalado que las ecuaciones diferenciales son fundamentales para entender y predecir el comportamiento de sistemas complejos, desde el flujo de fluidos hasta la dinámica estructural. En este sentido, el proyecto presentado en esta edición aborda el modelado de desplazamientos estructurales causados por sismos mediante un modelo de oscilador bilineal de un grado de libertad. Utilizando métodos numéricos como Euler, Runge-Kutta y Elemento Finito, los estudiantes no solo resolvieron la ecuación diferencial, sino que también compararon sus resultados con simulaciones obtenidas a través del software DEGTRA.

Este trabajo, que se enmarca en el contexto de Oaxaca, una de las regiones con mayor sismicidad en México, demuestra cómo la enseñanza basada en problemas reales puede contribuir al crecimiento profesional de los estudiantes. Como señala Felder (2012), este enfoque no solo mejora la comprensión de conceptos teóricos, sino que también fomenta habilidades críticas como el pensamiento analítico y la resolución de problemas. Las conclusiones de este proyecto incluyen una discusión detallada de los resultados y su aplicación en la identificación de riesgos estructurales causados por sismos, lo que refuerza la importancia de la educación basada en la práctica.

En conjunto, los trabajos presentados en esta edición reflejan la importancia de abordar las problemáticas ambientales y estructurales desde una perspectiva integral y multidisciplinaria. Tanto la creación del Centro de Cultura Ambiental Ñu Dhute como el uso de ecuaciones diferenciales para el análisis sísmico demuestran que la ingeniería y la arquitectura tienen el potencial de transformar comunidades y mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Agradecemos a todos los autores, investigadores y colaboradores que hicieron posible esta edición. Esperamos que los trabajos aquí presentados inspiren nuevas ideas y proyectos que contribuyan al desarrollo sostenible y resiliente de nuestras comunidades.

Lorena Carina Broca Domínguez
Directora de Posgrado e Investigación
Universidad La Salle Oaxaca, México.

Referencias

- Boyce, W. E., y DiPrima, R. C. (2012). Ecuaciones diferenciales y problemas con valores en la frontera. Limusa Wiley.
- Escobar, A. (2018). Diseños para el pluriverso: Interculturalidad, autogestión y sostenibilidad. Editorial Universidad del Cauca.
- Felder, R. M. (2012). Educación en Ingeniería: Una Historia de Dos Paradigmas. *Journal of Engineering Education*, 101(1), 1-2.
- Leff, E. (2014). La apuesta por la vida: Imaginación sociológica e imaginarios sociales en los territorios ambientales del Sur. Siglo XXI Editores.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry, V. J., Hansen, J., & Foley, J. A. (2009). Un espacio operativo seguro para la humanidad. *Nature*, 461(7263), 472-475.
- Sachs, J. D. (2015). *The Age of Sustainable Development*. Columbia University Press.

Derechos de Autor© 2024 Lorena Carina Broca Domínguez



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Usted es libre para Compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de: Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

Centro de Cultura Ambiental Ñu Dhute para la enseñanza del cuidado del medio natural y la afluencia turística sostenible en la población de San Andrés Ixtlahuaca, Oaxaca

Salatíel Uzias Almaraz Alonso*
DOI: 10.56643/rcia.v3i2.178

Como citar este artículo:

Almaraz Alonso S.U. (2024) Centro de Cultura Ambiental ÑU DHUTE para la enseñanza del cuidado del medio natural y la afluencia turística sostenible en la población de San Andrés Ixtlahuaca, Oaxaca. Revista Científica de Ingenierías y Arquitectura. 3(1). 9-30. <https://doi.org/10.56643/rcia.v3i2.178>

Resumen

El proyecto de investigación aborda las problemáticas ambientales presentes en San Andrés Ixtlahuaca, Oaxaca y propone la creación del Centro de Cultura Ambiental Ñu Dhute como solución integral a las mismas. Aunque la conciencia ambiental ha aumentado con el tiempo y se ha recibido apoyo gubernamental, la falta de organización ha obstaculizado el progreso de ciertas actividades, como talleres, reforestación y turismo sostenible. Por otra parte, la comunidad enfrenta desafíos, a saber: escasez de agua, crecimiento poblacional y pobreza. El objetivo del Centro es promover la educación ambiental y el turismo sostenible para mejorar la percepción comunitaria y generar nuevas perspectivas de desarrollo.

Se destaca la importancia de abordar la crisis ambiental para evitar pérdidas económicas y educar a la población sobre la conservación de los recursos naturales. San Andrés Ixtlahuaca posee condiciones favorables para impulsar el proyecto, incluyendo recursos naturales, sociales e institucionales. La creación del Centro de Cultura Ambiental beneficiaría tanto al medio ambiente como a la comunidad, en la medida que promovería actividades turísticas ordenadas y gestionaría proyectos estudiantiles dirigidos a fomentar la conciencia ambiental. Además, permitiría un análisis profundo de la escasez de recursos naturales y su impacto en la educación y la arquitectura local.

La ecoalfabetización, propuesta por David W. Orr y Fritjol Capra en 1990, es una herramienta que busca promover la educación ambiental desde el nivel preescolar hasta el nivel medio superior, incorporando diversas asignaturas orientadas a fortalecer la integralidad de la educación. El aprendizaje experiencial, planteado por Kolb en 1970, se sustenta en la idea de que el conocimiento se crea a través de la experiencia y se desarrolla en un ciclo de cuatro pasos: experiencia concreta, observación reflexiva, conceptualización abstracta y experimentación activa, todos ellos enfocados en generar las bases de un proyecto en favor de las nuevas generaciones.

Palabras clave: Aprendizaje experiencial, Cultura Ambiental, Conservación, Educación ambiental, Participación comunitaria, Turismo sostenible.

Abstract

The research project addresses the environmental problems of San Andrés Ixtlahuaca, Oaxaca, proposing the Ñu Dhute Environmental Culture Center as a comprehensive solution. Although environmental awareness has increased over time and there has been government support, a lack of organization has hindered progress in activities such as workshops, reforestation and sustainable tourism. The community faces challenges such as water scarcity, population growth and poverty. The center focuses on promoting environmental education and sustainable tourism to improve community perception and create new development perspectives.

The importance of addressing the environmental crisis is highlighted to avoid economic losses and educate the population about the conservation of natural resources. San Andrés Ixtlahuaca has favorable conditions for the project, including natural, social and institutional resources. The creation of the Environmental Culture Center would benefit both the environment and the community, promoting organized tourist activities and managing student projects to promote environmental awareness. In addition, it would allow an in-depth analysis of the scarcity of natural resources and its impact on education and local architecture.

*Egresado de la Lic. en Arquitectura, Universidad La Salle Oaxaca. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0109-905X>. Correo electrónico de correspondencia: 014421068@ulsaoaxaca.edu.mx
Recibido: 02/05/2024 | Aceptado: 29/08/2024 | Publicado: 15/12/2024
Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés. La investigación fue financiada con recursos de los autores.

Eco-literacy, proposed by David W. Orr and Fritjof Capra in 1990, is a tool that seeks to promote environmental education from preschool to high school level, integrating various subjects to strengthen the comprehensiveness of education. Experiential learning, developed by Kolb in 1970, is based on the idea that knowledge is created through experience and involves a four-step cycle: concrete experience, reflective observation, abstract conceptualization, and active experimentation. All this focused on generating the bases of a project in favor of the new generations.

KEYWORDS: Culture, Conservation, Experiential learning, Environmental, Environmental education. Community participation. Sustainable tourism.

Introducción

El presente trabajo de investigación plantea las problemáticas que aquejan a la comunidad de San Andrés Ixtlahuaca, Oaxaca, las cuales se relacionan con la contingencia ambiental y el cuidado del medio ambiente que se vio obligada a implementar con el paso de los años. La escasez de agua padecida por la comunidad desde hace poco menos de 20 años ha incrementado la conciencia de la necesidad de respetar y cuidar el medio ambiente. Esto la ha llevado a buscar el apoyo económico y el asesoramiento provenientes de múltiples instituciones, programas municipales, comunales, estatales y federales.

Sin embargo, a pesar del acompañamiento recibido durante estos años, el avance ha sido escaso y se ha visto frustrado por la falta de organización en el desarrollo de las actividades propuestas, entre ellas, talleres para estudiantes, reforestación y planes de atracción turística. Así, dichas actividades se han mantenido sólo como iniciativas, que no pasan de ser ideas que no se concretan. Esto ha provocado la pérdida de tiempo, de financiamiento y del interés de los habitantes. Consideramos sumamente importante prestar atención a esta problemática, pues con el paso del tiempo irá acrecentándose.

Por las razones expuestas, en esta investigación se desarrolla el proyecto Centro de Cultura Ambiental Ñu Dhute, para la enseñanza del cuidado del medio natural y la afluencia turística sostenible en la localidad de San Andrés Ixtlahuaca, Oaxaca. Dicho Centro proveerá una resolución óptima y

acertada de cada una de las necesidades detectadas en la comunidad. El interés por realizar esta investigación proviene de mi participación en las actividades en favor del medio ambiente realizadas por la comunidad, lo cual me permitió conocer a profundidad la problemática ambiental. Considero que el Centro de Cultura Ambiental contribuye a mejorar las condiciones actuales.

La ejecución de esta propuesta integral se orienta a promover la educación ambiental y el turismo alternativo sostenible. La iniciativa pretende destacar la importancia del cuidado ambiental en toda la región, mejorando la percepción de la comunidad y creando nuevas perspectivas para su desarrollo futuro. En este contexto, nuestra hipótesis plantea que el Centro de Cultura Ambiental Ñu Dhute desempeñará un papel crucial en el fomento de la conciencia ambiental, en tanto contará con espacios dedicados a la enseñanza, la preservación y el cuidado del medio ambiente, como también con áreas recreativas y de ocio, que atraerán al turismo local y extranjero.

De manera que el objetivo del presente estudio es contribuir a la educación ambiental y al turismo sostenible mediante el diseño del Centro de Cultura Ambiental Ñu Dhuté en San Andrés Ixtlahuaca, Oaxaca. Con este propósito se investigaron las condiciones geográficas, climáticas, sociales y culturales de la comunidad en fuentes en línea, así como realizando entrevistas y estudios del entorno. Asimismo, se efectuó un diagnóstico de conservación y un análisis de casos similares que nos permitiera definir estrategias. Finalmente, esta investigación se materializó en el diseño de espacios sostenibles para actividades de enseñanza sobre el cuidado ambiental y la promoción de recorridos y senderismo como parte de la oferta turística.

Figura 1.
Vista panorámica del Centro de Cultura Ambiental, San Andrés Ixtlahuaca, Oaxaca. Septiembre.



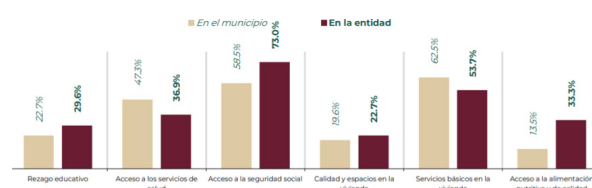
Planteamiento del problema de investigación

San Andrés Ixtlahuaca es un municipio localizado en la región de Valles Centrales del estado de Oaxaca, a 12 kilómetros del centro de la ciudad y a 1,600 metros sobre el nivel del mar. Se caracteriza por su clima semicálido-seco y su relieve de lomeríos llanos, condición que complica la industria agraria y su comercio (es el sector económico más importante y representa 64.6% de su economía según datos del INEGI), debido a que supone una alta demanda de agua y la comunidad ha padecido la escasez de este recurso desde hace 20 años. Por ello, la preservación y gestión de este recurso natural es sumamente importante para la comunidad (INEGI, 2020).

Conforme los datos del INEGI, en 2020 la población de San Andrés Ixtlahuaca, Oaxaca ascendía a 1,776 habitantes (47.6% hombres y 52.4% mujeres), esto es, 23.4% más que en 2010. Conjuntamente con el crecimiento de la población, se incrementó la pobreza: 54.27% de la población vive en situación de pobreza y en un grado de marginación medio, constatándose la falta de servicios básicos, de agua, de salud, de vivienda y de infraestructura a nivel municipal, por ejemplo, la carencia de espacios propicios para la cultura y la recreación. Estas condiciones han hecho que se mantengan los índices de migración (INEGI, 2020).

Figura 2.

Indicadores de carencia social en el municipio o demarcación territorial



Nota. Elaborado por la Dirección General de Planeación y Análisis (DGPA), Secretaría de Bienestar, con datos de la Medición Multidimensional de la Pobreza 2020 de Coneval, con información de INEGI 2020.

Del total de pobladores, 444 (25% de la población total) son niños o jóvenes menores de edad, para los cuales la capacitación en el cuidado al medio ambiente será de vital importancia. Actualmente, las escuelas de primaria y secundaria no abordan de manera concreta y específica un plan o materia que profundice en la problemática ambiental de la cual San Andrés Ixtlahuaca ha sido un claro protagonista (INEGI, 2020).

En respuesta a las problemáticas que aquejan a la comunidad, San Andrés Ixtlahuaca ha donado voluntariamente una superficie de 12 hectáreas de terreno destinadas a la conservación. Este espacio se ha ido modificando con el paso de los años tras la implementación de programas gubernamentales e institucionales impulsados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal, Pesca y Acuicultura (Sedafpa) y la Comisión Nacional Forestal (Conafor), instituciones que desde 2012 han desarrollado jornadas de reforestación de alrededor de 5 500 árboles de jarilla (*Quadratin*, 2013).

En 2017 y 2022 la Conafor coparticipó con la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa) en la plantación de 1 300 árboles de pino. Asimismo, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), brindó recursos económicos y logísticos para el desarrollo de invernaderos, la reproducción de árboles, la realización de talleres e infraestructura como plataformas de acampado, puentes entre escurrimientos de agua, tirolesas, y la ejecución de tareas de mantenimiento; así como la gestión de programas federales, como huertos comunitarios y la plantación de árboles (Grupo NVI, 2022).

Aunado a ello, las instituciones mencionadas han brindado talleres a niños de escuelas primarias, impulsando proyectos de concientización del cuidado ambiental y de compostaje, mismos que han tenido gran aceptación entre niños y adultos y han generado un interés masivo, pues existe la necesidad y una preocupación gigante por inculcar el cuidado de los recursos naturales a las futuras generaciones. Sin embargo, los talleres son tan cortos y poco continuos que el aprendizaje se pierde o se olvida, ya que no existe articulación entre la práctica y la teoría, entre instructores, niños y adultos y entre éstos y el desarrollo de lo aprendido, lo que produce pérdidas de tiempo, de recursos humanos y económicos.

Figura 3
Imagen satelital, 12 hectáreas donadas voluntariamente, San Andrés Ixtlahuaca, Oaxaca, 2022.

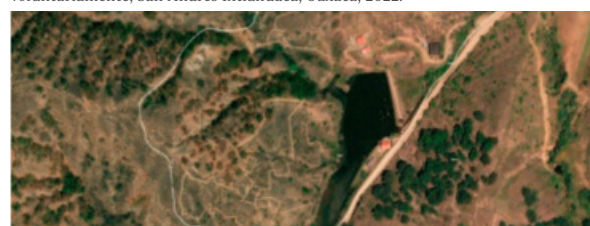


Figura 4
Puentes sin uso y deterioro.



Justificación

La crisis ambiental cada vez más intensa que se vive en la actualidad lleva mucho tiempo desarrollándose en el mundo, en México, en Oaxaca y en San Andrés Ixtlahuaca. La escasez de agua en esta comunidad ha llevado a sus pobladores a ser conscientes de la importancia de este recurso y de la necesidad de cuidarlo, como también de cuidar los recursos naturales en general. Muy pocos lugares pueden presumir de tener áreas de recursos naturales y paisajísticos; por ello, es necesario difundir y promover el cuidado de cada recurso natural.

Es importante asumir la responsabilidad y atender de manera inmediata y próxima esta problemática, pues de no hacerlo ocasionará pérdidas económicas a las iniciativas impulsadas por instituciones federales y estatales, al tiempo que se perderán oportunidades de educar a habitantes, niños y visitantes sobre la conservación de los recursos naturales, lo que hará que las consecuencias sean catastróficas.

La comunidad de San Andrés Ixtlahuaca padece la carencia de agua, que es la principal causa de deterioro natural y económico, pero posee las condiciones físicas naturales y sociales necesarias para desarrollar un proyecto que le favorezca. Existe suficiente información para profundizar en los acontecimientos del lugar, no sólo en los relacionados con la problemática sino también con sus características culturales, sociales, económicas y geográficas.

San Andrés Ixtlahuaca es un sitio privilegiado por su paisaje tan peculiar, que se ha desarrollado a lo largo de los años. A ello se suma un área extensa, disponible para ser trabajada, como también la riqueza que alberga. La identificación de estas

características permitirá hacer tener una lectura adecuada de criterios formales y materiales para integrar correctamente la propuesta.

El diseño de un Centro de Cultura Ambiental sería de gran utilidad para el desarrollo de actividades turísticas ordenadas. Hoy en día dichas actividades se realizan de manera espontánea, sin registro y sin control, por lo que no se generan ingresos y se perjudican las áreas involucradas. El Centro será primordial para la gestión de proyectos estudiantiles de escuelas de la zona, favoreciendo la concientización ambiental por medio de las actividades de aprendizaje experiencial que se realicen a lo largo del proyecto.

Lo consideramos una gran oportunidad para aportar un análisis profundo sobre la escasez de recursos naturales. El mismo tendría repercusiones importantes, en tanto beneficiaría los aspectos educativos y propiciaría la vinculación de San Andrés Ixtlahuaca con la arquitectura. Actualmente, la comunidad es apoyada por distintos programas federales, como también por diversas instituciones. Esto, aunado a la participación comunitaria y a los sistemas de tequio, son recursos que contribuyen a la realización de proyectos, posibilitando su construcción, aun cuando existan limitantes presupuestales, y favoreciendo la identidad con lo construido.

Finalmente, el diseño de un proyecto arquitectónico brindaría un espacio para la realización de una gama de actividades que benefician a la comunidad mayor, no sólo en el aspecto ambiental, sino también en el cultural, con espacios dedicados a la memoria de la historia del pueblo y a la divulgación de técnicas de construcción vernácula, mismas que por sí solas son amigables con el medio ambiente. Ello posibilitaría encontrar la unidad desde lo educacional, social y arquitectónico.

Materiales y métodos

La ecoalfabetización, David W. Orr y Fritjol Capra (1990)

La teoría de la ecoalfabetización tiene su origen con el educador David W. Orr y el físico Fritjol Capra, en 1990. Es una propuesta que involucra desde el nivel preescolar hasta el nivel medio superior. Su objetivo es promover la educación ambiental en la escuela, para lograr un mundo sostenible (Center for Ecoliteracy, 2016).

El planteamiento busca distinguir a la naturaleza como un espacio multifuncional y convertirlo en un salón de clases en el cual se puede aprender a través de la experiencia, pues por medio de ella, el aprendizaje tiene mayor éxito.

De acuerdo con Parra (2018), la educación ambiental no debe verse como un elemento o materia individual y única, sino que, por el contrario, debe involucrar un sistema interdisciplinario, en el cual diversas asignaturas (español, matemáticas, etc.) y enfoques desarrollen los aspectos inherentes al cuidado ambiental, cada una desde su trinchera, desde su área, fortaleciendo así la integralidad de la educación y posibilitando que ésta trascienda.

En sintonía con esto, en su libro *La trama de la vida* Capra desarrolla cinco principios de organización fundamentales en ecología, los cuales permiten conformar comunidades humanas sostenibles (Capra, 2009, pp. 307-314). A continuación, se desglosan de manera sintetizada:

1. Interdependencia: todos los organismos de un ecosistema están interconectados, su existencia depende de la existencia de otros.
2. Reciclaje: es importante saber que somos parte de los ciclos biogeoquímicos, como el del carbono o el nitrógeno, la materia y la energía fluyen constantemente y los desechos de un organismo son aprovechados por otro. Lo que otros organismos utilizaron hace mucho tiempo, es usado por muchos de nosotros. Así, es una comunidad sostenible aquella que entiende que los productos derivados del consumo pueden y deben ser reutilizados.
3. Asociación: la clave se encuentra en el trabajo colaborativo; las simbiosis que tienen lugar en la naturaleza nos enseñan que es posible trabajar de manera mancomunada para lograr el desarrollo regenerativo.
4. Flexibilidad: este punto está enfocado en estar prestos al cambio; se relaciona con la tendencia de los ecosistemas a autorregularse; dependiendo de las circunstancias, los seres vivos son capaces de adaptarse a los cambios.
5. Diversidad: existen múltiples soluciones, ideas, pensamientos y posibilidades. Las diferencias hablan de la variedad existente, lo cual debe aprovecharse para la mejora.

Aprendizaje experiencial, Kolb (1970)

El aprendizaje experiencial (experiential learning) tiene su raíz en la conclusión primordial de que el saber se conforma a través de la experiencia propia. La experiencia se mueve bajo una idea vaga, misma que es dotada para generar nuevas prácticas.

El ciclo de aprendizaje experiencial de Kolb (1984) perfecciona el trabajo de otros autores, como Lewin (1951), Dewey (1938) y Piaget (1978), centrándose en la idea de que el aprendizaje experiencial es una forma propia de aprendizaje, que destaca la experiencia como un eje crucial para la formación.

Smith (2001) señala que uno de los elementos peculiares del aprendizaje experiencial es que genera una relación entre el sujeto/individuo y el objeto de estudio, evitando la simple “contemplación” o descripción intelectual. A pesar de ello, el trabajo necesita seguir acrecentándose, pues ninguna teoría aporta garantías, es un trabajo personal. Este modelo de aprendizaje comprende un ciclo de cuatro pasos:

1. Experiencia concreta: los individuos se ven inmersos en actividades concretas, dando lugar a dinámicas, juego de roles, demostraciones, ejemplos análogos, etcétera.
2. Observación reflexiva: los individuos reviven su práctica revisándola desde muchas perspectivas y plantean cuestionamientos como: ¿qué observamos? ¿De qué nos dimos cuenta? ¿Cómo nos sentimos?
3. Conceptualización abstracta: los individuos elaboran teorías y observan comportamientos repetitivos, cuestionándose ciertos aspectos: ¿cómo explicas lo que observaste? ¿Qué significa para ti? ¿Cómo es significativo? ¿Qué conclusiones puedes sacar? ¿Qué principios generales se pueden derivar?
4. Experimentación activa: los individuos proponen espacios de aplicación de lo aprendido por medio de interrogantes. ¿Cómo podemos aplicar este aprendizaje? ¿Cómo aplica esto a nuestro trabajo diario? ¿Qué haríamos de manera diferente?

Recolección de la información

Para efecto de la presente investigación, se aplicó una encuesta en la comunidad de San Andrés Ixtlahuaca, Oaxaca, cuyo propósito fue recabar información esencial relativa a las impresiones y consideraciones de los miembros del servicio comunal en relación con el proyecto Centro de Cultura Ambiental Ñu Dhute. La encuesta se diseñó cuidadosamente para abordar temas relevantes, que incluyen aspectos ambientales, culturales, sociales y económicos. Las personas a ser encuestadas fueron seleccionadas considerando como único criterio su participación en el régimen de servicio comunal. La muestra quedó conformada por 19 personas y se determinó siguiendo el criterio de la fórmula de muestreo de poblaciones finitas para calcular el tamaño de la muestra estadística.

Encuesta modelo

1. ¿Qué tan importante es la educación ambiental en tu comunidad?
 - a) Muy importante
 - b) Importante
 - c) Poco importante
 - d) Nada importante
2. ¿Con qué frecuencia participas en actividades medioambientales (reciclaje, voluntariados, talleres, conversatorios)?
 - a) A menudo
 - b) Normalmente
 - c) Ocasionalmente
 - d) Nunca
3. ¿Qué tipo de actividades quisieras ver en un Centro de Cultura Ambiental?
 - a) Exhibiciones de naturaleza
 - b) Conferencias
 - c) Senderos y recorridos interpretativos
 - d) Talleres prácticos
 - e) Ecoturismo
 - f) Eventos culturales
4. ¿Qué temas ambientales te interesan más?
 - a) Cambio climático
 - b) Conservación
 - c) Ciclo e importancia del agua
 - d) Energías renovables
 - e) Manejo de residuos
5. ¿Estarías dispuesto a pagar una tarifa para entrar a un CCA?
 - a) Sí
 - b) No
 - c) Tal vez
6. ¿Qué tipo de actividades/eventos pueden motivarte a visitar un CCA?
7. ¿Llevarías a tus hij@s/sobrin@s/estudiantes a actividades ambientales al CCA?
 - a) Sí
 - b) No
 - c) Tal vez
8. ¿Cuántas veces al año participarías en actividades del CCA?
 - a) 1 vez al año
 - b) 2 veces al año
 - c) 3 veces al año
 - d) 4 o más veces al año
9. ¿Qué tanto impacto traería un CCA en tu comunidad?
 - a) Alto
 - b) Medio
 - c) Bajo
10. ¿Qué actividades ecoturísticas te parecen interesantes para el CCA?
 - a) Senderismo
 - b) Acampados
 - c) Paseos en bicicleta
 - d) Tirollesa

Resultados

Los datos obtenidos proporcionan información esencial para orientar la toma de decisiones y la planificación futura del proyecto Centro de Cultura Ambiental Ñu Dhute. Además, estos resultados servirán como una valiosa referencia para las autoridades locales, las organizaciones pertinentes y otros actores interesados en el desarrollo sostenible y cultural de San Andrés Ixtlahuaca.

¿Qué tan importante es la educación ambiental en tu comunidad?



Figura 5. Desarrollado por el autor

La figura 5 revela que 90% (17 personas) considera muy importante la educación ambiental en San Andrés Ixtlahuaca, mientras que el restante 10% (2 personas) la valora como importante, lo que da cuenta de respuestas favorables a la creación de un Centro de Cultura Ambiental.

¿Con qué frecuencia participas en actividades medioambientales (reciclaje, voluntariados, talleres, conversatorios)?

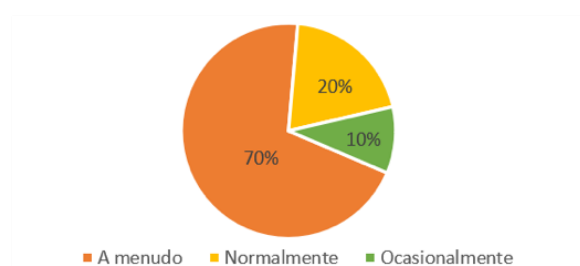


Figura 6. Desarrollado por el autor

La figura 6 indica que 70% de los encuestados (13 personas) participan a menudo en actividades medioambientales, 20% (4 personas) lo hacen normalmente y 10% (2 personas) ocasionalmente, por lo que se constata un interés alto de los servidores por estas actividades.

¿Qué tipo de actividades quisieras ver en un Centro de Cultura Ambiental?

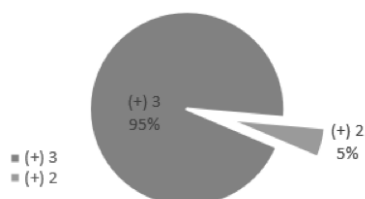


Figura 7. Desarrollado por el autor.

La figura 7 da cuenta de las respuestas a la interrogante ¿qué actividades apostarían por ver en el Centro de Cultura Ambiental? Al proponerse las siguientes actividades: exhibiciones de naturaleza, conferencias, senderos y recorridos interpretativos, talleres prácticos, ecoturismo y eventos culturales, 85% de los entrevistados (16 personas) seleccionó más de tres opciones y 15% (3 personas) se inclinó por dos opciones, lo cual habla de la múltiple participación existente.

¿Qué temas ambientales te interesan más?



Figura 8. Desarrollado por el autor.

La figura 8 indica que 70% (13 personas) muestra interés por el tema del agua, 20% (4 personas) se decanta por el tema de la conservación, mientras que 10% (2 personas) se interesa en abordar el cambio climático. Una vez más, esto confirma el compromiso e interés que se ha generado en San Andrés Ixtlahuaca por los temas ambientales, lo que, de alguna forma, ha sido obligado por las condiciones y circunstancias actuales que viven la comunidad, México y el mundo.

¿Estarías dispuesto a pagar una tarifa para entrar a un Centro de Cultura Ambiental?

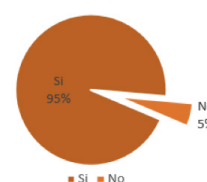


Figura 9. Desarrollado por el autor.

La figura 9 revela la postura de la dirección comunal respecto a la posibilidad de cobrar una tarifa por ingresar al Centro de Cultura Ambiental: 95% de los encuestados (18 personas) estuvieron a favor de pagar mientras que sólo 5% (1 persona) mostró desacuerdo.

¿Llevarías a tus hij@s/sobrin@s/estudiantes a actividades ambientales en el Centro de Cultura Ambiental?

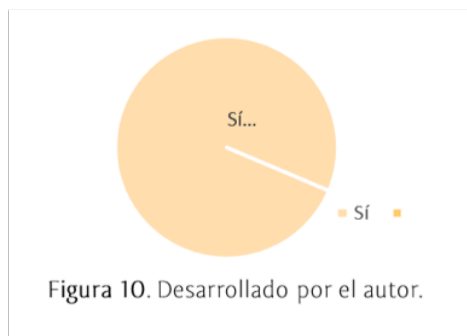


Figura 10. Desarrollado por el autor.

La figura 10 demuestra el compromiso de los servidores comunales: la totalidad de los mismos, 100% (19 personas), dijo que llevaría a sus familiares/estudiantes a actividades que se realicen en el Centro de Cultura Ambiental, lo que confirma el apoyo de parte de padres y responsables, llevando la educación ambiental a una cuestión comunicable desde las familias.

¿Cuántas veces al año participarías en actividades del Centro de Cultura Ambiental?

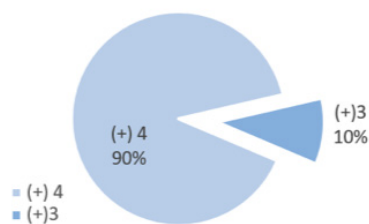


Figura 11 Desarrollado por el autor.

La figura 11 muestra que los servidores comunales están dispuestos a estar enteramente vinculados con la participación en actividades medioambientales en el Centro de Cultura Ambiental: 90% (17 personas) participarían 4 o más veces al año y 10% (2 personas) 3 veces al año, lo cual sigue siendo un indicador positivo.

¿Qué tanto impacto traería un CCA en tu comunidad?



Figura 12. Desarrollado por el autor.

La figura 12 indica que 100% (19 personas) considera que el Centro de Cultura Ambiental tendría alto impacto en su comunidad.

¿Qué actividades ecoturísticas te parecen interesantes para el Centro de Cultura Ambiental?

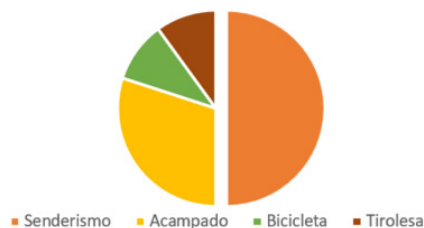


Figura 13. Desarrollado por el autor.

La figura 13 muestra las preferencias de los encuestados. En cuanto a desarrollo ecoturístico, las mismas giran en torno a cuatro actividades claves: 50% (10 personas) considera el senderismo como la actividad más interesante, por los recursos presentes y de mayor aprovechamiento; en segundo lugar, 30% (5 personas) se inclina por el acampado, mientras que los recorridos en bicicleta y la tirollesa concentran 10% de las respuestas cada uno (2 personas), lo cual enriquece la idea de un espacio que ofrezca actividades de recreación, favorecidas por el entorno y sus recursos.

Los resultados obtenidos a lo largo de esta encuesta permiten percibir la necesidad latente en la comunidad de un espacio dedicado a la divulgación de una cultura ambiental, expresada sobre todo por los servidores comunales. Éstos perciben la posibilidad de implementar importantes espacios de enseñanza, de interacción al aire libre, de recreación, entre otros. Así, estos datos fungen como sustento cuantitativo de las razones por las cuales es necesario un Centro de Cultura Ambiental, como también los espacios que éste involucra, los cuales deben surgir de una necesidad y no de la suposición y/o imposición, que pueden repercutir en el futuro.

Conclusiones

La investigación desarrollada en torno al proyecto "Centro de Cultura Ambiental Ñu Dhute" en San Andrés Ixtlahuaca, Oaxaca, proporcionó una visión clara y fundamentada de aspectos clave relacionados con la concepción, planificación y desarrollo de este centro en esta comunidad. El análisis de casos análogos, la revisión de leyes y reglamentos pertinentes, la consideración de datos de contexto geográfico, la revisión de antecedentes de centros de cultura ambiental similares y la realización de encuestas en la comunidad arrojaron datos que permiten llegar a conclusiones

significativas, esenciales para informar y orientar el futuro del proyecto.

Las encuestas realizadas en la comunidad ponen de manifiesto las voces y expectativas de los miembros del servicio comunal. Los datos que aportan son fundamentales para alinear el proyecto con las necesidades y los deseos de la comunidad, de manera de asegurar su éxito y sostenibilidad a largo plazo. Justamente, quienes integran la comunidad serán quienes estén allí, quienes vivan el espacio, se relacionen con él y puedan apropiarse del mismo. Asimismo, la encuesta funcionó como cotejo y control, para obedecer única y exclusivamente a las necesidades y las resoluciones que los propios habitantes han de observar, no siendo ajenos a su percepción sino fortaleciéndola.

Este proyecto tiene el potencial de ser un recurso invaluable para la comunidad, pues fomenta el cuidado del medio ambiente y el enriquecimiento de su herencia cultural; a la vez, representa un paso significativo hacia un futuro más sostenible y consciente en San Andrés Ixtlahuaca, que pretende repercutir a lo largo del estado y del país, trayendo consigo múltiples mejoras para las generaciones venideras.

Los resultados obtenidos se ven reflejados en el desarrollo de la propuesta, y propician espacios de investigación que incluyen la belleza natural de San Andrés Ixtlahuaca emergiendo como un punto de encuentro entre la exuberante flora y fauna de la región y las expresiones arquitectónicas que dan forma a su contexto artificial. Este pintoresco municipio, impregnado de historia y cultura, se convierte en el escenario en el que convergen la tradición y la contemporaneidad. En este contexto exploraremos tanto la riqueza natural como la construcción humana que definen la identidad de San Andrés Ixtlahuaca.

Desde la majestuosidad de sus paisajes hasta la trama urbana que delinea sus calles, se concretó el marco funcional que da vida a este lugar, considerando sus aspectos prácticos y sus implicaciones simbólicas. La conceptualización arquitectónica servirá como un testimonio palpable de la interacción entre la creatividad humana y el entorno natural que lo rodea. Esta exploración se sumerge en la fusión única de elementos naturales y contruidos que caracterizan este rincón de Oaxaca, develando los hilos que tejen la trama inseparable entre la naturaleza y la arquitectura.

Referencias

- Boff, L. (2012). *Sustentabilidade: o que é – o que não é*. Vozes, 2012.
- Capra, F. (2009). *La trama de la vida*. Anagrama.
- Center for Ecoliteracy (2016). Education for Sustainable Living. <http://www.ecoliteracy.org/>
- Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (1999). La dimensión ambiental en educación y capacitación. *Cecadesu / Semarnat*.
- Ceballos-Lascurain, H. (1994). *Estrategia nacional de ecoturismo para México*. UINC.
- Ciudadanía Express (2012, julio 18). Reforestación social en Ixtlahuaca. <https://www.ciudadania-express.com/2012/07/18/domingo-familiar-de-reforestacion-social-en-ixtlahuaca/>
- Freitas, J. (2016). *Sustentabilidade – direito ao futuro*. Fórum.
- Gómez, C. S., y Barrón, K. S. (2019). Impacts of tourism and the generation of employment in Mexico. *Journal of Tourism Analysis*, 26 (2): 94-114.
- Goodwin, H. (1996). En busca del ecoturismo. *Biodiversity and Conservation*, 5: 277-291.
- Gunn, C., y Var, T. (2002). *Tourism Planning*. 4a. ed. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003061656>
- Grajales G., T. (2000). Tipos de Investigación. Disponible en: https://www.academia.edu/9373954/TIPOS_DE_INVESTIGACION_Por_Tevni_Grajales_G
- INEGI (2020). San Andrés Ixtlahuaca. Data México. <https://datamexico.org/es/profile/geo/san-andres-ixtlahuaca>
- Maldonado Salazar, T. D. (2010). Modelo de evaluación y acreditación de los Centros de Educación y Cultura Ambiental. *Horizonte Sanitario*, 9(2): 42-47.
- Mejía Madero, B. A. (2020). Relación entre la conciencia ambiental y el comportamiento ecológico. *Centro Sur*, 4(2): 74-85. <https://doi.org/10.37955/cs.v4i2.66>
- Morillón, D. (2021). Sustentabilidad y bases internacionales: un acercamiento a la arquitectura sustentable. En Filipe Narciso, C. y Meza Paredes, M. (Coords.), *Paisaje, ordenamiento y sustentabilidad Diálogos multidisciplinares con la Arquitectura de Paisaje* (127-146). Facultad de Arquitectura-UNAM.
- Pacheco, A. (2022, junio 13). Reforestan SICT, Profepa y autoridades San Andrés Ixtlahuaca. Grupo NVI. Recuperado 22 de febrero de 2023, de <https://www.nvinoticias.com/oaxaca/general/reforestan-sict-profepa-y-autoridades-san-andres-ixtlahuaca/132113>
- Palomino Villacencio, B., y López Pardo, G. (2019). Relaciones del turismo de naturaleza, la comunidad y la resiliencia en la Sierra Norte de Oaxaca. *Pasos. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 17(6): 1205-1216. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2019.17.083>.
- Quadratin* (2013, agosto 12). Rebasa Oaxaca meta de Jornada de Reforestación Un Nuevo Bosque. *Quadratin*. <https://oaxaca.quadratin.com.mx/Rebasa-Oaxaca-meta-de-Jornada-de-Reforestacion-%C2%93Un-Nuevo-Bosque%C2%94/>
- Sectur (2004). Turismo alternativo una nueva forma de hacer turismo. Sectur.
- Sectur (2007). Elementos para evaluar el impacto económico, social y ambiental del Turismo de Naturaleza en México. Sectur.
- Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural (s. f.). <https://www.semahn.chiapas.gob.mx/>
- Técnicas didácticas (s. f.). https://sitios.itesm.mx/va/dide2/tecnicas_didacticas/aprexperiencial.htm
- UNESCO (2019, octubre 22). La cultura, elemento central de los ODS. UNESCO. <https://courier.unesco.org/en#:~:text=-La%20cultura%20es%20todo%20lo,y%20sea%20inclusivo%20y%20equitativo>
- Vásquez, V. (s. f.). Historia agraria de San Andrés Ixtlahuaca, Oaxaca, México. <https://metodo2013.blogspot.com/2018/09/historia-agraria-de-san-andres.html>
- Velasco Gómez L. (2011). Plan Municipal de Desarrollo Sustentable San Andrés Ixtlahuaca, Oaxaca. https://www.finanzasgoaxaca.gob.mx/pdf/inversion_publica/pmds/11_13/092.pdf

Derechos de Autor© 2024 Salatiel Uzías Almaraz Alonso



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Usted es libre para Compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de: Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

Structural Displacements Caused by Earthquakes: A Practical Application of Differential Equations

Vladimir Cortés Lerín¹, Sofía Rendón Aragón²

DOI: 10.56643/rcia.v3i2.177

Como citar este artículo: Cortés Lerín V. y Rendón Aragón S. (2024) Structural Displacements Caused by Earthquakes: A Practical Application of Differential Equations. Revista Científica de Ingenierías y Arquitectura. 3(2). 31-44. <https://doi.org/rcia.v3i2.177>

Abstract

Teaching differential equations within university engineering courses allows for students to create physically realistic models whose solutions provide practical application. This work addresses the modeling of structural displacements caused by earthquakes through the use of differential equations by employing a one-degree-of-freedom bilinear oscillator model. The Euler's, Runge-Kutta and Finite Element numerical methods were used to solve the differential equation and the results were compared with simulations obtained through the DEGTRA A4 software. The capital of Oaxaca is one of the cities with the highest seismicity levels in Mexico, therefore the students from this state are well aware of the earthquake-related accelerations to which physical structures can be subject. Taking advantage of this foreknowledge, a project using differential equations was proposed, which consisted in giving numerical solutions to the model equation through diverse methods and then comparing them. The conclusions compiled in this work include students' impressions while developing the project, discussion of their results and its application in the identification of structural risk. This report suggests that this methodology was not only effective in terms of academic results but also contributed to students' professional growth.

Keywords—Numerical methods, structural displacement, earthquakes, differential equations.

Resumen

La enseñanza de ecuaciones diferenciales en materias de ingeniería permite a los estudiantes modelar sistemas físicos reales, que, al darles solución, provee valores de utilidad práctica. Este trabajo aborda el modelado de los desplazamientos estructurales causados por sismos mediante ecuaciones diferenciales, utilizando un modelo de oscilador bilineal de un grado de libertad. Se emplearon los métodos numéricos de Euler, Runge-Kutta y Elemento Finito para resolver la ecuación diferencial y se compararon los resultados con simulaciones obtenidas a través del software DEGTRA A4. La ciudad de Oaxaca es una de las ciudades con más alta sismicidad de México por lo que la problemática de las estructuras sometidas a aceleraciones sísmicas es muy bien conocida entre los estudiantes de este estado. Aprovechando este contexto se planteó un proyecto que utilizara las ecuaciones diferenciales, el cual consistió en darle soluciones numéricas a la ecuación del modelo bilineal mediante diversos métodos numéricos y compararlos. Las conclusiones recopiladas en este trabajo incluyen discusión de resultados y su aplicación en la identificación de riesgo estructural causado por sismos. Esto sugiere que la metodología no sólo fue efectiva en términos de resultados académicos, sino que también contribuyó al crecimiento profesional de los estudiantes.

Palabras claves. Métodos numéricos, desplazamientos estructurales, sismos, ecuaciones diferenciales

Introduction

High seismicity in the Oaxaca region poses a significant challenge to the structural integrity of buildings there. The last registered high-intensity seismic event occurred on September 7th, 2017 with an epicenter in the Gulf of Tehuantepec, 137 kilometers southeast of the city of Pijijiapan. The earthquake measured 8.2 Mw, greatly impacting many buildings in the region. Seismic events are frequent in the state; since its inhabitants are highly accustomed to this phenomenon, they are familiar with safety protocols and are highly aware of the effects these events have on its buildings, like those inflicted by the earthquake on September 7th 2017 in the towns in the Gulf of Tehuantepec (Pozos-Estrada et al., 2019; Godínez-Domínguez et al., 2020).

¹ Master of Science in Conservation and Use of Natural Resources. STEAM Application Research, Development and Innovation Group (GI+D+i de aplicaciones STEAM) La Salle University of Oaxaca (Universidad La Salle Oaxaca). ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8242-7811>. Correo electrónico de correspondencia: vladimir.cortesle@ulsaoaxaca.edu.mx

² Student. STEAM Application Research, Development and Innovation Group (GI+D+i de aplicaciones STEAM) La Salle University of Oaxaca (Universidad La Salle Oaxaca) Oaxaca, México ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2996-2219>
Recibido: 01/05/2024 | Aceptado: 21/08/2024 | Publicado: 15/12/2024
Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés. La investigación fue financiada con recursos de los autores.

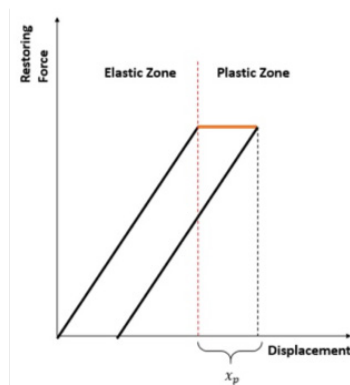
Taking this social context of into account, the familiarity with this seismic phenomenon was used to link the solution to a differential equation with a case study in which the students could identify and visualize a practical application to the solution. Applying knowledge to the use of models develops interest for application among students and gives meaning to the results, further motivating the acquisition of deeper understanding. Some concepts, abilities and mathematical processes that students develop while solving real-world problems can be found to be more meaningful (Hamilton et al., 2008).

This study aims to apply numerical modeling methods and then analyze structural movement during seismic events, focusing on a one-degree-of-freedom bilinear oscillation model that represents the loading conditions in typical structures in the region. For the reasons mentioned above, the differential equations course in the software and computer systems engineering program at La Salle University of Oaxaca (Universidad La Salle Oaxaca) planned a special exercise to solve a one-degree-of-freedom bilinear oscillation model described by a differential equation. Given that students take classes in computer programming, it was proposed that the solution methods be numerical.

The model used in this work is a one-degree-of-freedom bilinear oscillation model which describes the structural displacements on buildings caused by earthquakes (Montuori et al., 2021; Qiu et al., 2021; Pierleoni et al., 2018).

The bilinear model “Fig. 1” consists of two zones: the linear zone that describes displacements in the elastic zone in which the structures return to their initial position, and the nonlinear one, which describes displacements in the plastic zone, in which a permanent displacement exists and the structure does not return to its original position.

Fig 1. Displacement graph – restoring force



Different models exist that describe one-degree-of-freedom oscillators. In this work, an elasto-plastic model was used, its lineal zone described by the following differential equation:

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega\dot{x} + \omega^2x = -\ddot{x}_g$$

Where $\ddot{x}$ is the acceleration in the oscillator, $\dot{x}$ is the velocity of the oscillator, x is the displacement in the oscillator, ζ and ω are parameters of the system that depend on the mass, the rigidity and the coefficient of the damping of the oscillator. $\ddot{x}_g$ is the acceleration of entry to the system, which is the acceleration in the base of the oscillator.

When solving the differential equation of this model, oscillator displacements are obtained. These displacements can be used to determine if the structure is found in an elastic zone or if it has passed on to its plastic zone. It is possible to model elements of a building if the structural parameters are known or approximated, if the acceleration of entry corresponds to the seismic accelerations, and if the response to the equations provides structural displacement. Several methods have been developed that can estimate structural damage (Pan and Lee, 2002; Kim and Melhem, 2004; Yang et al., 2003). In this work, structural displacement solutions have been obtained without giving interpretation to the structural damage suffered.

The Euler's and Runge-Kutta solution methods are used in this work, which were selected because they were indicated by the differential equations program. Considering the scope of the subject, the Henn or Backward Euler methods could be used, among others. These solution methods are indicated for linear differential equations, which is why only the linear zone of the bilinear oscillator model is considered. Additionally, the Finite Element Method (FEM) was incorporated because of its programming characteristics and to further incorporate a challenge for the students.

Methodology

Once each of the elements related to the analytic solutions of ordinary linear differential equations had been addressed, the group proceeded to carry out examples and exercises incorporating the numerical solution methods for these types of equations with the Euler's Method, the Runge-Kutta Method and the Finite Element Method. After this process, the group discussed the earthquake predicament through a presentation focused on the consequences of earthquakes and

the structural damages to buildings that were sustained specifically in the 2017 earthquake in the region. The professor emphasized the structural displacement buildings suffer due to seismic acceleration as well as the deformation stages that the materials suffer in the elastic or plastic zones. Once these points were covered, the model concept was introduced as a means to represent physical phenomena in order to then present the model that describes a one-degree-of-freedom bilinear oscillator, which can additionally be used to describe structural displacements caused by accelerations. Finally, the model was linked to other parts in a building and, by working in teams, students were asked to give solutions to the differential equations in three numerical methods.

In order to arrive at the numerical solutions of differential equations, it is necessary to know both the accelerations of entry to the system and that of the oscillator; both accelerations can be reduced to an absolute acceleration in the following manner:

And equation (1) is expressed as:

$$\ddot{x}_a = \ddot{x} + \ddot{x}_g \quad (2)$$

$$2\zeta\omega\dot{x} + \omega^2x = -\ddot{x}_a \quad (3)$$

To solve this equation, the acceleration of entry earthquake register on September 19th, 1985 was used (also known as register "SCT"). ζ and ω were left as modifiable variables. The initial displacement was considered in the initial time of zero.

Next, we describe methods. Taking the definition of the Euler's Method for differential equations (Ross, 2004) and applying it to (3) we obtain the following iterative expression:

$$x_i = \left(\frac{-\ddot{x}_{a,i-1} - \omega^2 x_{i-1}}{2\zeta\omega} \right) dt + x_{i-1} \quad (4)$$

Here, i is the index of the actual position and $i-1$ is the index of the previous position. The Euler's Method is proposed because it is a simple method to implement, although it is less precise than other methods, such as the Runge-Kutta Method.

The Runge-Kutta Method is described as (Kim and Melhem, 2004):

$$x_i = x_{i-1} + \frac{1}{6} (K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4) \quad (5)$$

Where:

$$K_1 = f(t_{i-1}, x_{i-1}) dt$$

$$K_2 = f\left(t_{i-1} + \frac{1}{2} dt, x_{i-1} + \frac{1}{2} K_1\right) dt$$

$$K_3 = f\left(t_{i-1} + \frac{1}{2} dt, x_{i-1} + \frac{1}{2} K_2\right) dt$$

$$K_4 = f(t_{i-1} + dt, x_{i-1} + K_3) dt$$

Adapted to (3) the function f is represented by:

$$f(x) = \frac{-\ddot{x}_{a,i-1} - \omega^2 x_{i-1}}{2\zeta\omega}$$

Solving for (3) through the Finite Element Method (Zienkiewicz and Taylor, 2005) we obtain:

$$K_{ij}^e = \zeta\omega + \frac{\omega^2 T_e}{3}$$

$$K_{ij}^e = \zeta\omega + \frac{\omega^2 T_e}{6}$$

$$f_j^e = \frac{T_e \ddot{x}_a(t_i)}{2}$$

The displacements are given by the following expression:

$$[x] = K^{-1}(-f) \quad (6)$$

Where K^{-1} is the inverted matrix of K which is constituted in the following manner:

$$K = \begin{bmatrix} K_{ii}^e & K_{ij}^e & 0 & 0 & \dots & 0 \\ K_{ij}^e & 2K_{ii}^e & K_{ij}^e & 0 & \dots & 0 \\ 0 & K_{ij}^e & \ddots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2K_{ii}^e & K_{ij}^e & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & K_{ij}^e & 2K_{ii}^e & K_{ij}^e \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K_{ij}^e & K_{ii}^e \end{bmatrix}$$

And the vector f is formed in the following way:

$$f = \begin{pmatrix} f_j^e \\ 2f_j^e \\ \vdots \\ 2f_j^e \\ f_j^e \end{pmatrix}$$

The students programmed numerical methods on Scilab, which is an open-source software for numerical computing. The equation was solved for the entry file with the values $\zeta=0.05$ and $\omega=2\pi$ and $dt=0.01$, subsequently generating answer graphs. Additionally, the students used a displacement register with a bilinear oscillator simulation. This

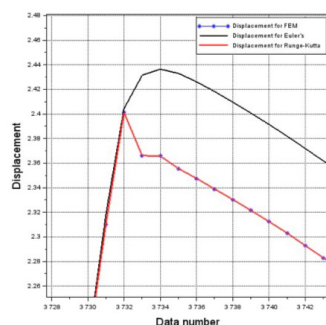
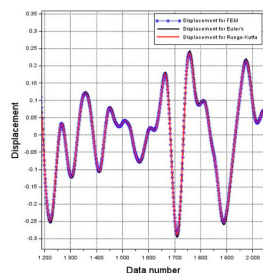
displacement register was useful to compare the solutions obtained with a simulation made by the software. The software used in this study is called “DEGTRA A4” and was developed by the National Autonomous University of Mexico (Universidad Nacional Autónoma de México) which, among other functions, is a bilinear oscillation simulator. It is important to mention that the displacements obtained from the simulations were of a single bilinear oscillation, which is why they contain displacements within the linear or elastic zone and displacement within the nonlinear or plastic zone. This configuration was chosen by the professor so that students, while solving the differential equation, could conclude that numerical methods adjust well in the linear zone but not so in the nonlinear zone.

Results

The students solved the numerical methods and then graphed each one in the same system coordinates for comparison. The three methods gave similar results, the difference among them is minimal, as shown in “Fig. 2”.

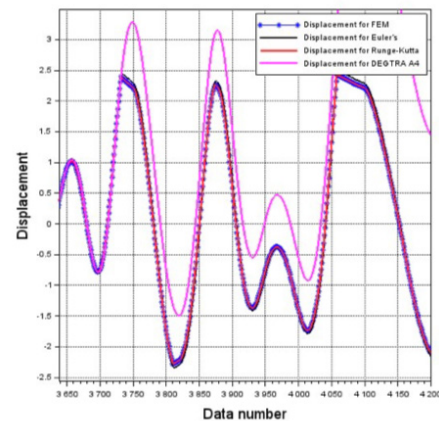
By comparing generated graphs to the numerical solutions, we observe an abrupt slope along the Finite Element Method data, generating a peak that the Euler’s method do not, see “Fig. 3”.

Differential equation solutions of the three numerical methods



Comparative among the three numerical methods

Additionally, the students were provided with a file of displacements generated by the DEGTRA A4 simulation software in order to compare them with the ones obtained via numerical calculation methods, see “Fig 4”. We observe that solutions obtained by the simulation software are similar to the ones obtained by numerical methods in the first data set. Notably, around data point 3731, we see a slight difference between the programmed numerical methods and the simulation.



Comparative among the three numerical methods and simulation

After having obtained all the graphs, the process of interpretation began. The first question that the students raised regarded the causation of the peaks within the Finite Element Method solutions, which students attributed to an error in the method. While conducting additional analysis of the behavior in the three numerical methods and the one simulated by software, the students observed that while the numerical method solutions followed a pattern, the ones generated by the simulator differ after the 3731 data point, but after this differing behavior, they largely coincided again with a certain offset.

The professor shared that the differences between data generated by solving differential equations and the data obtained by the simulation were due to the products of a bilinear oscillation, and that while the oscillator maintained in the linear zone, the programmed numerical methods had the same behavior. However, if the simulated answer was in the nonlinear zone, it differed with the other programmed methods; when the oscillator returned to its linear behavior, the numerical methods returned to the same behavior which is simulated but with a certain offset. This offset was due to a permanent displacement that prevented the oscillator from returning to its original position.

The peaks that appear in the Finite Element Method were of great interest. The students noticed that the first peak began where the oscillator entered its nonlinear zone. The points where the oscillator entered its nonlinear zone through the generated register were obtained through the DE-GTRA A4 software; these points were compared with the abrupt change in slope that is observed in the Finite Element Method. The following results were obtained:

Comparative between the entry to nonlinear behavior of simulated displacements and the peak of the fem

Inputs to nonlinear behavior		
Data number	Simulated displacements	Peaks of the FEM
	3731	3731
	3810	3809/3810
	3874	3873
	4057	4057
	4210	4209
	4302	4301
	4407	4407
	4909	4908/4909
	5019	5018

In comparing the abrupt changes in slope in the Finite Element Method solution with the entries of nonlinear behavior in the simulated displacements, we see the data nearly coincide.

The interpretive application of this study was further revealed to the students as they recognized the capacity to estimate oscillator displacement which could represent the structural elements of a building that has sustained an earthquake. Obtaining displacement measures could indicate if a structure is within the plastic or elastic zone. Likewise, this study emphasizes the limitation of using a one-degree-of-freedom oscillator, since it only analyzes one movement of the six possible movements that a structure subject to earthquakes may sustain, as the model used in this study is a simplification of more elaborate models.

Conclusions

As students from a highly seismic region, the students in this study were able to link the use of differential equations with familiar application. Additionally, they applied their computer knowledge to solve numerical methods. While executing this project, students expressed interest in the theory behind earthquakes and mathematical application in such events. The differences stated in the Finite Element Method generated a discussion regarding its efficacy, but after discovering that they are linked from the beginning of nonlinear behavior, one may ask whether the Finite Element Method could detect the changes in linear behavior from that of nonlinear oscillations. Thusly, in future works, we recommended conducting larger scale trials with different configurations of oscillator and accelerations to assure uniformity in all trials. We also recommended using more numerical methods to verify if other methods present the same behavior.

Acknowledgments

To the STEAM Application Research, Development and Innovation Group (GI+D+i) at La Salle University of Oaxaca (Universidad La Salle Oaxaca), for its support provided while carrying out this work.

References

- Godínez-Domínguez, E., Tena-Colunga, A., Archundia-Aranda, H., Gómez-Bernal, A., Ruíz-Torres, R., & Escamilla-Cruz, J. (2020). Structural damage in housing and apartment buildings during the September 7, 2017 Tehuantepec earthquake. *In Proceedings of the 17th World Conference on Earthquake Engineering*.
- Hamilton, E., Lesh, R., Lester, F., & Brilleslyper, M. (2008). Model-eliciting activities (MEAs) as a bridge between engineering education research and mathematics education research. *Advances in Engineering Education*, 1(2). <http://eric.edu.gov/?id=EJ1076067>
- Kim, H., & Melhem, H. (2004). Damage detection of structures by wavelet analysis. *Engineering Structures*, 26(3), 347-362. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2003.10.008>
- Montuori, R., Nastri, E., & Tagliaferro, B. (2021). Residual displacements for non-degrading bilinear oscillators under seismic actions. *Mechanics Research Communications*, 111, 103651. <https://doi.org/10.1016/j.mechrescom.2020.103651>
- Pan, T., & Lee, C. (2002). Application of wavelet theory to identify yielding in seismic response of bi-linear structures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31(2), 379-398. <https://doi.org/10.1002/eqe.113>
- Pierleoni, P., Marzorati, S., Ladina, C., Raggiunto, S., Belli, A., Palma, L., Cattaneo, M., & Valenti, S. (2018). Performance evaluation of a low-cost sensing unit for seismic applications: Field testing during seismic events of 2016-2017 in Central Italy. *IEEE Sensors Journal*, 18(16), 6644-6659. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2850065>
- Pozos-Estrada, A., Chávez, M. M., Jaimes, M. Á., Arnau, O., & Guerrero, H. (2019). Damages observed in locations of Oaxaca due to the Tehuantepec Mw8.2 earthquake, Mexico. *Natural Hazards*, 97(3), 623-641. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03662-9>
- Qiu, C., Du, X., Teng, J., Li, Z., & Chen, C. (2021). Seismic design method for multi-story SMA braced frames based on inelastic displacement ratio. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 147, 106794. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106794>
- Ross, C. C. (2004). *Differential equations: An introduction with Mathematica®* (2nd ed.). Springer.
- Yang, J. N., Lei, Y., & Lin, S. (2004). Hilbert-Huang based approach for structural damage detection. *Journal of Engineering Mechanics*, 130(1), 85-95. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(2004\)130:1\(85\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(2004)130:1(85))
- Zienkiewicz, O. C., & Taylor, R. L. (2005). *The finite element method for solid and structural mechanics*

Derechos de Autor© 2024 Cortés Lerín, Vladimir; Rendón Aragón, Sofia



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Usted es libre para Compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de: Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

