

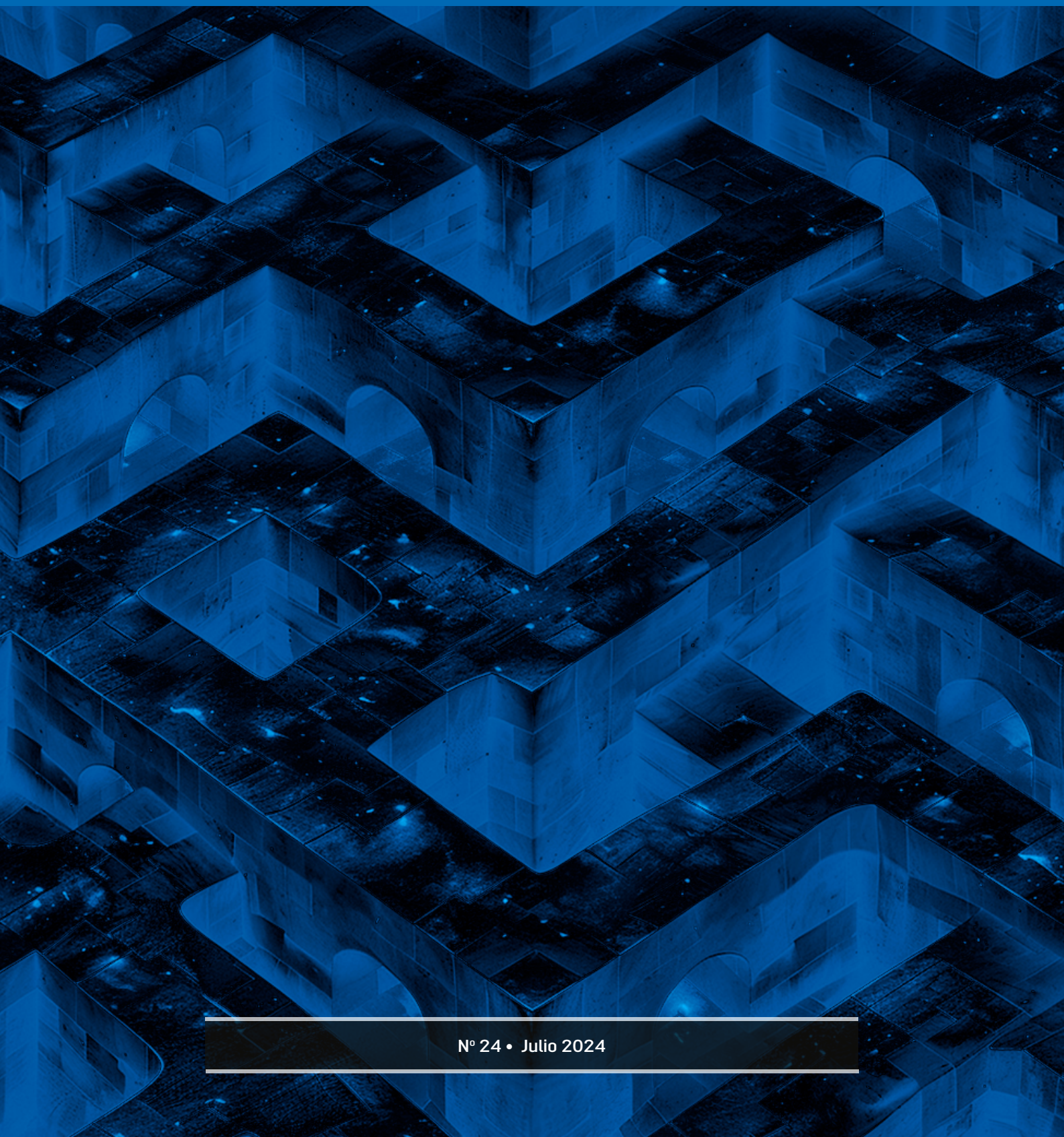


EÍDOS
UTE
REVISTA

Facultad Arquitectura y Urbanismo
ISSN:1390-5007

ARQUITECTURA DIGITAL: EXPLORANDO LA SÍNTESIS ENTRE TECNOLOGÍA, DISEÑO Y MATERIALIZACIÓN

*DIGITAL ARCHITECTURE: EXPLORING THE SYNTHESIS
BETWEEN TECHNOLOGY, DESIGN, AND MATERIALIZATION*



Nº 24 • Julio 2024

Créditos

Editor en Jefe

Majid Khorami, Ph.D., Universidad UTE

Editora Asociada

Diana Zuleta, Ph.D., Universidad UTE

Editor Asociado

Dr. René Idrovo, Ph.D.

Diagramación y diseño

Editorial UTE

Corrección de estilo

Editorial UTE

Contacto

Equipo Editorial

Revista EIDOS: idos@ute.edu.ec

Facebook: @idosrevista

Twitter: @idosrevista

Instagram: @idosrevista

Facultad de Arquitectura y Urbanismo – FAU Universidad UTE

Matriz: Calle Rumipamba s/n entre Bourgeois y Atahualpa

Teléfono: (593) 2 299-0800

Quito, Ecuador

ÍNDICE

Dossier

3

Imperfecciones controladas: integrando lo natural en la gráfica digital arquitectónica

Adrián Patricio Beltrán Montalvo, Sebastian Narvaez-Purtschert, Daniele Rocchio

Miscelánea

17

Tejiendo la Planificación Rural: Una Clasificación Morfológica para las Comunas Andinas.El Caso de Flores, Ecuador

Riccardo Porreca, Francisco Caza, Diana Paz

39

Impact of Economic, Social, And Environmental Factors on Electric Vehicle Adoption: A Review

Mohammad Farajnezhad, Jason See Toh Seong Kuan, Hesam Kamyab

63

Frequency Responses of a Graphene Oxide Reinforced Concrete Structure

Mostafa Habibi, Mohammad Habibi, Emad Toghrol, Maryam Saba, Morteza Shariati

81

Diseño Gráfico Automatizado:Un Análisis Crítico detrás de la Inteligencia Artificial

Fausto Daniel Santos Tapia

95

Study of an Environmentally Friendly High-Performance Concrete (HPC) Manufactured with the Incorporation of a Blend of Micro-Nano Silica

Jhon Fabricio Tapia Vargas, Mohammadfarid Alvansazyazdi, Alexis Andrés Barrionuevo Castañeda

111

Neuroinclusión en la Arquitectura: El Rol de la Arquitectura en la Mejora de la Salud Emocional y Mental de Individuos con TEA y Neurodivergentes

Diana Patricia Chávez López, Jhonny Leonardo Álvarez Ochoa

129

Fibers Pavement Concrete Proposed for Salang Road-Afghanistan-A review

Abdulhai Kaiwaan, Sayed Javid Azimi, Muhammad Aref Naimzad

145

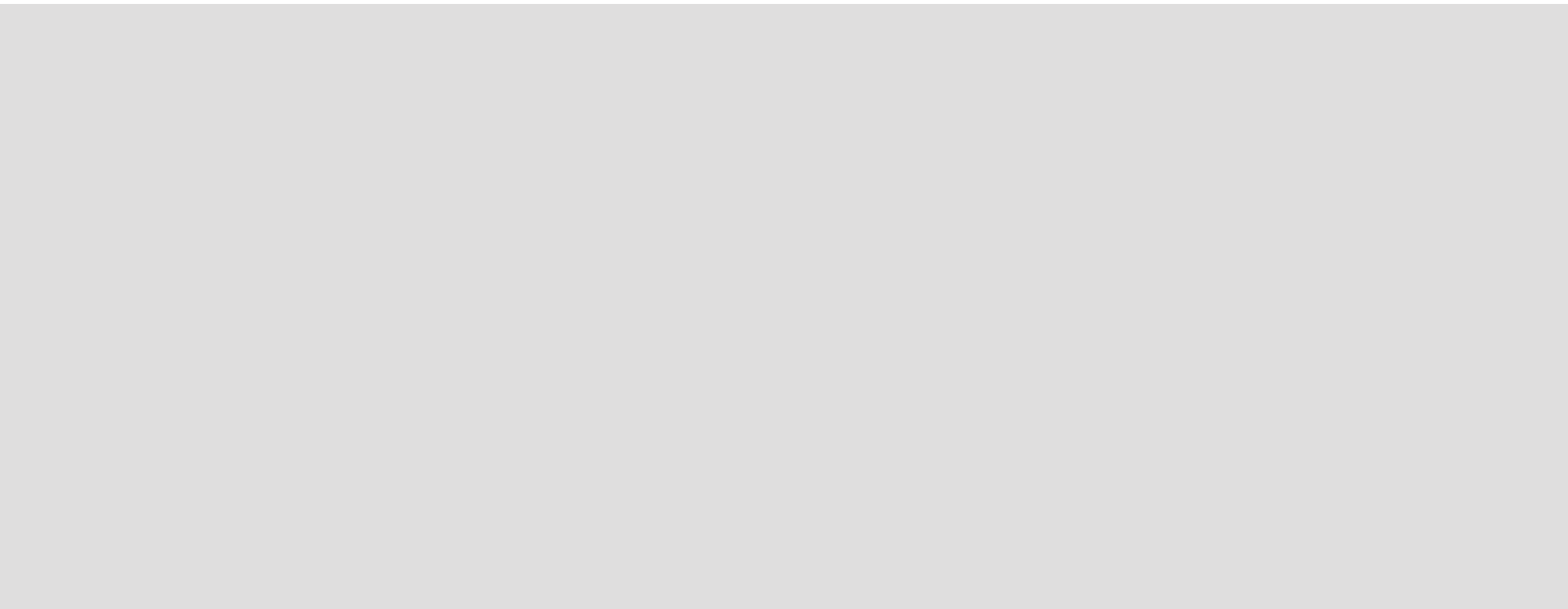
Impacto de la Tecnología BIM en la Eficiencia y Sostenibilidad de Proyectos Arquitectónicos

Patricio Fernando Pérez Suárez, Diego Francisco Solano Zambrano, Sofía Lorena Sornoza Alarcón, Evelyn Andrea Chérrez Córdova

161

Negative Emotional Experiences in Design:A Theoretical Approach to the Literature in Design Studies

Samira Ashari, Babak Amraee, Stefan Schmidt, Gaetano Cascini



Imperfecciones controladas: integrando lo natural en la gráfica digital arquitectónica

Controlled Imperfections: Integrating the Natural into Architectural Digital Graphics

EÍDOS N°24
Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo
ISSN: 1390-5007
revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos



¹Adrián Patricio Beltrán Montalvo, ²Sebastian Narvaez-Purtschert, ³Daniele Rocchio

¹Universidad UTE, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Departamento de Arquitectura, Grupo de investigación: LL LiminalLab, Calle Rumipamba S/N y Bourgeois, Quito, Ecuador. adrian.beltran@ute.edu.ec. ORCID: 0000-0001-7574-1602

²Universidad UTE, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Departamento de Arquitectura, Grupo de investigación: LL LiminalLab, Calle Rumipamba S/N y Bourgeois, Quito, Ecuador. sebastian.narvaez@ute.edu.ec. ORCID: 0009-0001-9746-9774

³Universidad UTE, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Departamento de Arquitectura, Grupo de investigación: LL LiminalLab, Calle Rumipamba S/N y Bourgeois, Quito, Ecuador. daniele.rocchio@ute.edu.ec. ORCID: 0000-0002-0414-8681

Resumen:

La digitalización en la representación gráfica arquitectónica ha llevado a una búsqueda de perfección, que a menudo omite la autenticidad y la irregularidad del mundo real. Este artículo aborda cómo la inclusión deliberada de "imperfecciones controladas" puede reintroducir la humanidad y la autenticidad en estas formas de representación, mejorando la experiencia estética y la conexión emocional del espectador.

El objetivo del estudio es explorar el rol de las imperfecciones en la representación gráfica arquitectónica digital, argumentando que pueden enriquecer la narrativa visual y la percepción estética. La metodología tiene por base un análisis con enfoque fenomenológico y hermenéutico de la propuesta Rustic Whispers: Corten Dreams in Italy's Countryside, para el concurso Rural Housing: The Adaptive Reuse of an Italian Cascina, en donde se identifican elementos compositivos que se dirigen hacia la integración de elementos irregulares y naturales en la representación gráfica, mientras esta

se desenvuelve en el escenario discursivo de las competencias arquitectónicas.

Los resultados principales del análisis muestran que la integración de estas imperfecciones no solo aumenta el realismo de las representaciones, sino que también fomenta una mayor conexión entre el espectador y la obra. Las representaciones enriquecidas con imperfecciones invitan a una exploración más profunda y ofrecen una narrativa visual más envolvente y sensorial. Se concluye que la adopción de este concepto, en las representaciones digitales arquitectónicas, desafía la homogeneidad y la esterilidad de la perfección digital, y fomenta una arquitectura más humana y conectada con su entorno.

Palabras claves: Representación gráfica, imperfección controlada, dibujo arquitectónico, narrativa visual.

Abstract:

The digitization in architectural graphic representation has led to a quest for perfection that often overlooks the authenticity and irregularity of the real world. This article addresses how the deliberate inclusion of "controlled imperfections" can reintroduce humanity and authenticity into these forms of representation, enhancing the aesthetic experience and the emotional connection of the viewer.

The study aims to explore the role of imperfections in digital architectural graphic representation, arguing that they can enrich the visual narrative and aesthetic perception. The methodology is based on a phenomenological and hermeneutic analysis of the proposal "Rustic Whispers: Corten Dreams in Italy's Countryside" for the competition "Rural Housing: The Adaptive Reuse of an Italian Cascina", in which compositional elements that lead to the integration of irregular and natural elements in the graphic

representation are identified, as it unfolds in the discursive scenario of architectural competitions.

The main results of the analysis show that the integration of these imperfections not only increases the realism of the representations but also promotes a greater connection between the viewer and the work. Representations enriched with imperfections invite deeper exploration and offer a more immersive and sensory visual narrative. In conclusion, the adoption of this concept in digital architectural representations challenges the homogeneity and sterility of digital perfection, promoting a more human architecture connected with its environment.

Keywords: *Graphic representation, controlled imperfection, architectural drawing, visual narrative.*

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, dentro del contexto de la aparición e implementación de la inteligencia artificial en la vida cotidiana, se ha vuelto más evidente cómo la digitalización ha permeado todos los campos profesionales, académicos y personales de los seres humanos, en donde la disciplina arquitectónica no es la excepción. En este campo disciplinar, las representaciones gráficas digitales se han convertido en una herramienta fundamental en el proceso de diseño, ofreciendo precisión y eficiencia sin precedentes (Rocchio et al., 2023 y Beltrán y Simbaña 2019). Sin embargo, este avance tecnológico trae consigo un desafío significativo: la pérdida de la esencia humana y natural en las representaciones arquitectónicas, dando paso a que las "imperfecciones controladas" emerjan, como un concepto que, además de desafiar el ideal de perfección en la gráfica digital arquitectónica, reivindica la importancia de lo irregular y lo natural.

De igual manera, es importante señalar que, mientras los avances en las tecnologías de representación siguen evolucionando, la arquitectura ha incrementado su carácter atmosférico y multisensorial, enfocándose en lo fenomenológico, lo háptico

y la experiencia propia de los usuarios (Pallasmaa, 2005 y Zumthor, 2006).

Este artículo explora el concepto de imperfecciones controladas dentro de la representación gráfica en la arquitectura, argumentando que la inclusión deliberada de elementos irregulares y naturales puede enriquecer significativamente la experiencia estética y la narrativa visual de una imagen. Este enfoque, enriquecido por una capa de lógica afectiva, la cual evoca emociones y propone futuros contruidos con base en la percepción y la respuesta emocional del público, convierte a las imágenes en poderosos medios de comunicación, dentro del escenario discursivo de las competencias arquitectónicas (Smitheram, Nakaj Kidd y Meekings, 2018).

A partir de una lectura general de la propensión actual hacia la perfección, el valor de la irregularidad, la representación de lo atmosférico, y los criterios compositivos necesarios para su integración, se propone un enfoque donde la representación digital arquitectónica armoniza lo tecnológico con lo orgánico, lo exacto con lo impreciso, el espacio y la apropiación (Porreca, Brito y Narvaez-Purchert 2023), y fundamentalmente la arquitectura con su entorno.

1.1. La Perfección en el Diseño Digital

Antes de adentrarnos en el campo específico de la representación gráfica arquitectónica, es importante señalar que la búsqueda de la perfección en el diseño digital arquitectónico se ha intensificado con el desarrollo de tecnologías avanzadas y software de modelado, dentro de un contexto social, cultural y tecnológico, conocido como revolución digital (Dickinson, 2017 y Krauel, 2010). Estas herramientas permiten a los arquitectos y diseñadores crear representaciones altamente detalladas y precisas de sus obras, promoviendo una estética de claridad, limpieza y orden, aspiraciones que se asemejan notoriamente a la falsa idea de progreso del movimiento moderno (Rowe y Koetter, 1979; Beltrán y Yépez, 2022). Si bien estos atributos son deseables hasta cierto punto, su predominancia ha llevado a una uniformidad que puede despojar a las representaciones de su vitalidad y realismo.

Por otro lado, la adhesión estricta a la perfección digital plantea preguntas sobre la creatividad y la individualidad en el diseño arquitectónico. En un mundo donde las representaciones se generan a menudo con ajustes predeterminados y algoritmos, la singularidad de la visión del arquitecto puede verse comprometida. La uniformidad resultante no solo es visible en las representaciones individuales, sino que también puede influir en las tendencias de diseño a nivel global, promoviendo un paisaje arquitectónico homogéneo, despersonalizado y deshumanizado. En este contexto, Koolhaas y Miyoshi (1997), han investigado dicho fenómeno en los espacios urbanos y cómo ha impactado en la identidad y funcionalidad de las ciudades. Igualmente, los autores exploran cómo la creciente uniformidad de los entornos urbanos desafía la diversidad y complejidad que históricamente han caracterizado a las ciudades, mientras argumenta que esta homogenización, impulsada por factores económicos, culturales y tecnológicos, no solo erosiona la identidad local y las tradiciones urbanas, sino que también

compromete la capacidad de los espacios urbanos para servir efectivamente a sus habitantes.

Esta tendencia hacia la perfección digital ignora una verdad fundamental de nuestro entorno, la cual se resume en que la naturaleza y la realidad están llenas de imperfecciones. Desde la variabilidad en la textura de los materiales hasta las irregularidades en las formas y patrones, el mundo real se caracteriza por su diversidad y complejidad. Al omitir estos elementos, las representaciones digitales corren el riesgo de convertirse en visiones utópicas y estériles, que no reflejan la verdadera experiencia del espacio y el entorno.

En este contexto, las imperfecciones controladas se presentan no solo como una respuesta a la frialdad de la perfección digital, sino también como una oportunidad para reintroducir la humanidad, la singularidad y la autenticidad en la representación gráfica arquitectónica. Sainz (2005) y Beltrán-Montalvo (2022) proponen tres formas de expresión de ideas relacionadas a la arquitectura: el lenguaje natural, el lenguaje gráfico y el lenguaje arquitectónico, siendo el segundo en el cual nos enfocamos para adoptar estos elementos irregulares y naturales, que generan representaciones más ricas, dinámicas y, en última instancia, más humanas.

1.2. El Valor de lo Irregular y lo Natural

En contraste con la pulcritud y la uniformidad que caracterizan a menudo la gráfica digital en arquitectura, el valor de lo irregular y lo natural radica en su capacidad para reflejar la realidad del mundo físico. La inclusión de elementos naturales e imperfecciones controladas no solo enriquece la estética visual, sino que también fomenta una conexión más profunda entre el espectador y la representación arquitectónica.

En este contexto, conviene introducir el concepto del "tercer paisaje" de Clément (2007), quien lo describe como los espacios olvidados o no cultivados dentro de

los entornos urbanos. Aunque originalmente no se refería a la gráfica digital, este concepto puede reinterpretarse en el contexto actual como un llamado a reconocer y valorar lo no planificado y lo irregular dentro de nuestras representaciones digitales. Al integrar elementos del tercer paisaje en las representaciones arquitectónicas, se introduce una capa de autenticidad y se desafía la noción convencional de lo que debería ser una representación "perfecta".

Esto nos lleva a reflexionar sobre, si la naturaleza es inherentemente irregular y asimétrica, y estas características son esenciales para la belleza y la diversidad del mundo natural, cómo podemos reflejarlas en las representaciones digitales. Esta aproximación ayuda a cerrar la brecha entre la realidad digital y física, permitiendo que las representaciones digitales hablen más verdaderamente del entorno y la experiencia humana y estética.

De igual manera debemos considerar a la figura humana como parte de esta naturaleza, para lo que Colonnese (2019), sugiere aprovechar la producción masiva de representaciones anónimas difundidas generosamente por todo el mundo a través de Internet, y seleccionar figuras peculiares que puedan resultar un antídoto contra el inminente proceso de estandarización, ofreciendo la posibilidad de diseñar la escena arquitectónica bajo una trama oculta. Esta táctica también permite vincular el diseño con una ubicación y momento específicos, funcionando como un intermediario cultural, situacionista y sensorial o, al contrario, desestabilizar el concepto del diseño con elementos fuera de tiempo que exigen un esfuerzo adicional de interpretación, similar a una obra inacabada que aguarda la contribución interpretativa del espectador (Rocchio, Domingo-Calabuig, 2023).

Por su parte, Degen, Melhuish y Rose (2015), proponen una amplia gama de efectos gráficos, para que la tecnología de visualización digital permita crear sen-

saciones y experiencias sensoriales específicas en las imágenes generadas por computadora, tanto en proyectos arquitectónicos como urbanos. Estos efectos se utilizan para iluminación y sombreado, texturizado y materiales, efectos atmosféricos, personas y actividades, vegetación y paisaje, movimiento y movilidad, así como cambios temporales y de iluminación. Estas autoras indican que los efectos deben combinarse para producir imágenes que no solo representen edificios o espacios, sino que también evoquen sensaciones, emociones y atmósferas específicas.

2. METODOLOGÍA Y CASO DE ESTUDIO

Para esclarecer las ideas introducidas inicialmente, se propone un análisis gráfico que integra perspectivas fenomenológicas y hermenéuticas, examinando el trabajo de Adrián Beltrán, et al. en la competición Rural Housing: The Adaptive Reuse of an Italian Cascina, organizada por Terra Viva Competitions. Este análisis se estructura en una serie de etapas definidas para guiar el proceso metodológico.

Inicialmente, se contextualiza el proyecto analizando su trasfondo, objetivos, intenciones conceptuales, y el contexto cultural, social y ambiental. A continuación, se formulan interpretaciones preliminares de los elementos gráficos presentados, sin adentrarse aún en un análisis exhaustivo.

Posteriormente, se realiza un análisis fenomenológico breve, basado en las teorías de Pedragosa (2009), que busca "describir las apariencias múltiples de una obra de arte, en este caso, arquitectónica, sin confundirlas con las de un objeto material en el espacio" (p. 359). Este paso comienza con una observación desprovista de juicios previos, para identificar y describir los elementos gráficos como composiciones, colores, líneas y espacios, y en donde se pospone la interpretación de su significado a una fase posterior, en la cual se explorará la percepción subjetiva y la experiencia personal.

La tercera fase involucra un análisis hermenéutico, fundamentado en las ideas de Gadamer y adaptado contemporáneamente por Quintana y Hermida (2019), y Capdevila (2005). Este enfoque trata la interpretación como una “conversación” entre el observador y el texto o imagen, destacando la participación del intérprete, quien aporta sus experiencias y preconcepciones al proceso. El análisis busca fusionar los horizontes del observador y del texto o imagen para alcanzar una comprensión más profunda.

En esta etapa, se examina cómo cada elemento gráfico refleja el contexto cultural, histórico y conceptual del proyecto. Se integran observaciones fenomenológicas con el análisis hermenéutico para profundizar en los significados de las representaciones gráficas, reflexionar sobre las experiencias personales del analista y evaluar el potencial narrativo de los elementos visuales.

Además, se identifica elementos narrativos como personajes, acciones y símbolos, observando la secuencia y flujo visual. Se examina el uso de la luz y las sombras para crear atmósferas en cada imagen, lo cual es fundamental en el análisis. Este proceso destaca la integración de imperfecciones en la propuesta visual, centrando el análisis en este aspecto.

Finalmente, las conclusiones objetivas, desde lo fenomenológico, y las subjetivas, desde lo hermenéutico, se contextualizan dentro del concepto de experiencia estética, según Arnheim (1979) y Rocchio (2024), donde los criterios contemporáneos de representación gráfica arquitectónica se combinan con conceptos contextualistas de la arquitectura, con lo cual se enriquece la narrativa del proyecto.

3. ANÁLISIS GRÁFICO Y NARRATIVO DE RUSTIC WHISPERS: CORTEN DREAMS IN ITALY’S COUNTRYSIDE.

En mayo del 2023, la plataforma Terra Viva Competitions lanza el concurso Rural

Housing: The Adaptive Reuse of an Italian “Cascina”. Esta competición busca la reutilización adaptativa de la Cascina Lossano, una granja tradicional italiana en desuso, que debe ser transformada en un complejo de viviendas contemporáneas que respeten su carácter histórico. Para ello, Terra Viva solicita que los participantes creen propuestas que conserven los edificios originales y reintegren nuevos espacios exteriores e interiores que respondan a las necesidades de los usuarios actuales, para posteriormente ser evaluados con base en su originalidad, integración contextual y sensibilidad en el uso de materiales (TerraViva, 2023).

Para aplicar la metodología partimos de describir la propuesta Rustic Whispers: Corten Dreams in Italy’s Countryside, de Beltrán, Narvaez y Rocchio, la cual, en palabras de los autores, rinde homenaje al valle del Po en el norte de Italia, integrando la historia agrícola y las tradiciones rústicas dentro de una *cascina* italiana tradicional. El proyecto busca armonizar la preservación del patrimonio, la modernidad y la sostenibilidad, enriqueciendo el agro-patrimonio de la región. De igual manera, mantiene el respeto por las características originales de la *cascina*, especialmente el patio central, reinventándolo como un núcleo comunitario y preservando su importancia histórica. Rustic Whispers incluye cinco edificios principales, unificados por su materialidad. El uso de Acero Corten no solo establece un puente entre la tradición y la innovación, sino que dialoga conceptualmente con la percepción de temporalidad en su entorno natural. El diseño fomenta una conexión entre los residentes y la naturaleza, con grandes ventanales, áreas de permanencia abiertas y patios que ofrecen vistas ininterrumpidas del paisaje frondoso del valle del Po.

Con esta descripción, y con el fin de enmarcar Rustic Whispers en el análisis gráfico que se plantea en este artículo, es importante mencionar que el *brief* establece que los participantes deben entregar dos paneles A1 en formato horizontal, que con-

tengan toda la información gráfica necesaria para explicar el proyecto de manera clara y detallada. De igual manera se da la apertura para que estos paneles incluyan títulos, diagramas, imágenes en 3D, plantas, secciones, entre otras formas de representación.

La diagramación de esta propuesta se distribuye en los dos paneles solicitados de la siguiente forma: el primero, de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, contiene el nombre del proyecto, una breve descripción de este, la implantación en la que se identifican todos los componentes que configuran la propuesta, un boceto conceptual y una perspectiva general del proyecto dialogando con su contexto (figura 1). En el segundo panel, de izquierda a derecha, se detallan, inicialmente con una denominación particular, un corto texto explicativo, un boceto conceptual individual y, posteriormente, a través de plantas y secciones, el antes y el después de cada uno de los bloques, seguido de

una imagen representativa de cada uno de ellos (figura 2).

Una vez identificados de manera general todos los elementos que componen los paneles de presentación, se seleccionan las imágenes a ser analizadas. Del primer panel se seleccionan la implantación y la perspectiva general, mientras que del segundo se analizan todas las plantas y cortes de manera general, así como las imágenes representativas de cada bloque. De esta selección y análisis se observan los siguientes criterios:

3.1. Criterios Compositivos

La composición en estas imágenes empieza por responder al espacio asignado en la diagramación general de los paneles. En primer lugar, la implantación muestra la interacción de los bloques arquitectónicos con el contexto natural, donde la definición intencional de cada bloque, por medio de líneas blancas que contrastan



Figura 1. *Rustic Whispers*, Panel No. 1.
Fuente: Archivo de los autores.

con la representación de las texturas plan-teadas para cada uno de estos, permite la identificación de la propuesta arquitectónica en contraste con lo existente. En esta composición podemos observar cómo la disposición de los edificios, el paisaje circundante y los sujetos, autos, tractores y ganado, dentro de la imagen, guían la mirada del espectador y enfatizan ciertos aspectos del diseño. De igual forma, se ha identificado el símbolo representativo del Norte, aplicado con el fin de mejorar la comprensión de ciertas decisiones de diseño basadas en la ubicación de los bloques, así como la lectura del lugar de implantación, la cual dialoga con la representación gráfica de las sombras proyectadas por estos volúmenes.

En las imágenes de representación tridimensional, tanto del primer como del segundo panel, podemos identificar cómo la utilización del espacio negativo, la simetría y la asimetría de cada composición gráfica, así como la orientación de las líneas vi-

suales, las cuales conducen a los ojos por la imagen (Carroll, 2023), contribuyen a un equilibrio compositivo en la lectura general de la propuesta.

En términos técnicos, las imágenes muestran un claro entendimiento de la iluminación, la textura y la perspectiva. La iluminación, representada principalmente por la luz solar, se utiliza para resaltar texturas, identificar los valores tridimensionales de la propuesta, y para crear atmósferas específicas del contexto rural en el que se implanta el proyecto, realzando la experiencia espacial de las representaciones. Por su parte, las texturas, especialmente, son fundamentales para transmitir las "imperfecciones" del entorno y de los materiales, tanto por sus características relacionadas a la erosión, como por su manera de evocar el paso del tiempo a través de manchas, marcas y desperfectos, haciéndolos parte integral de la narrativa visual, de lo que se hablará más adelante. De igual forma, la perspectiva es utilizada no



Figura 2. *Rustic Whispers, Panel No.2.*
Fuente: Archivo de los autores.

solo para dar una sensación de espacio y profundidad, sino también para enfocar la atención en elementos específicos y para dirigir la narrativa, elementos que también se profundizan en los siguientes puntos.

En cuanto a la paleta de colores, podemos identificar tonos tierra, verdes y grises que, además de representar de manera realista el entorno, evocan sensaciones de calma, naturalidad y pertenencia. La selección cromática es fundamental para la integración de las imperfecciones, ya que colores más suaves y naturales permiten que las texturas y las irregularidades de los materiales destaquen, añadiendo profundidad y autenticidad a las imágenes. Es importante señalar, que estos aspectos gráficos no se emplean de manera aislada; sino que interactúan entre sí para crear una representación cohesiva entre los diferentes elementos gráficos de Rustic Whispers.

De igual manera, vemos cómo las plantas y secciones arquitectónicas se ajustan, independientemente de su escala o contenido técnico, a la distribución armónica de la información gráfica de los paneles. Estos dibujos, además, facilitan su lectura a través del uso de criterios técnicos, como el grosor de las líneas, la paleta de colores, que identifica tanto criterios constructivos como contrastes dialécticos entre lo existente y lo propuesto, hasta elementos de ambientación, como mobiliario y usuarios, que muestran la apropiación de los espacios.

3.2. Jerarquía Visual

Como se mencionó en el punto anterior, además de la perspectiva y la ubicación de los elementos de ambientación, la paleta de colores empleada a lo largo de la representación proyectual, refleja el entorno natural y la materialidad de los edificios, al mismo tiempo que permite resaltar ciertos elementos compositivos, jugando con el peso visual, el contraste y la composición. En ambos paneles podemos observar cómo la aplicación de colores complementarios, de acuerdo con la teoría del color,

intensifican el criterio de jerarquía visual, al mismo tiempo de actuar como hilo conductor de la narrativa visual.

En las figuras 3 y 4 podemos observar el predominio de los tonos verdes y rojos en las imágenes del primer panel, en las que claramente, la aplicación puntual del contraste cromático, guía al espectador a enfocarse en los elementos arquitectónicos propuestos, mientras descansa la mirada en la paleta que representa el entorno natural. Este contraste cromático es reforzado por las líneas compositivas que dirigen la mirada hacia los bloques arquitectónicos.



Figura 3. Saturación de los verdes que configuran el primer panel
Fuente: Archivo de los autores.



Figura 4. Saturación de los rojos que configuran el primer panel
Fuente: Archivo de los autores.

3.3. Contexto Cultural y Conceptual

Si bien se ha mencionado ya el contexto de implantación del proyecto en el valle del Po, como parte del paisaje rural italiano, es importante destacar ciertos atributos propios del lugar que se ven incluidos en las imágenes. De igual forma, se busca representar el *Genius Loci* de esta ubicación en particular, de acuerdo con los preceptos establecidos por Norberg-Schulz (1980), los cuales entienden la correcta ubicación de la edificación, con la finalidad de resaltar la vegetación, la iluminación natural, el espíritu rural y ganadero, lo fértil de su tierra y lo acogedor de su gente.

3.4. Narrativa Visual e Imperfecciones

Las imágenes del proyecto Rustic Whispers trasgreden el concepto de representación, mostrándose como historias contadas a través de la gráfica. Cada elemento, desde las texturas hasta las sombras, desde las líneas hasta el manejo de planos, juega un papel en la narración de la historia de este espacio rural transformado. La presencia de elementos naturales, animales y seres humanos en las representaciones visuales, agrega capas de historia y vida que contrastan con la estructura

arquitectónica, enfatizando la coexistencia entre lo construido y lo natural.

Desde la perspectiva de Falcón Meraz (2015), la figura humana no solo sirve como un indicador de escala, sino que también potencia la expresión del proyecto arquitectónico, convirtiéndose en una herramienta fundamental para comunicar la esencia y la intención de este. Sin embargo, por el proyecto que estamos analizando, no son únicamente las figuras humanas las que deben ser estudiadas, sino también los animales que dialogan con el espacio propuesto. Por esto, partimos de identificar los atributos de los personajes que forman parte de la narrativa visual de ambos paneles.

El ganado siendo arriado por los campos, la pareja de jóvenes en un picnic frente a las habitaciones del primer bloque, la mujer meditando en uno de los recintos habitables, el gato persiguiendo al ratón, el grupo de amigos tomando cerveza frente al antiguo establo, la vaca descansando bajo uno de los árboles frutales (figura 5), los niños y sus perros correteando entre los pasillos y patios exteriores, el vaquero que galopa junto a la vaca pastando y va al encuentro de un residente y su hijo, se suman a las siluetas lineales de los dibujos



Figura 5. Los personajes
Fuente: Archivo de los autores

bidimensionales para contar una historia: la historia de la comunión entre la vida tradicional del campo, con la vida contemporánea que habita los nuevos bloques.

Además de la ubicación estratégica en las imágenes y su breve descripción, estos personajes aportan con dinámicas, movimiento e incluso como puntos focales hacia donde el espectador debe guiar su mirada. Es importante que estas figuras también dejen de lado la perfección digital y que sean sus cabellos en movimiento, el desgaste de sus ropas y su sombreado irregular, los que aporten a la narrativa visual.

Sin embargo, en este contexto sobre cualquier otro, el escenario en el que se desarrolla la escena y en el cual dialogan e interactúan los personajes es el verdadero objeto de atención. La propuesta arquitectónica se entrelaza al entorno natural, evidenciando el paso del tiempo tanto en las sombras como en las texturas. En *Rustic Whispers*, los autores sacan provecho de esto utilizando principalmente Acero Cor-Ten y madera, ambos materiales que, en el mundo de lo tangible, muestran sus imperfecciones como uno de sus principales atributos (figura 6).

En los dos paneles podemos observar ese desgaste material que fortalece la narrativa conceptual del proyecto, al igual que la conjugación entre estos elementos constructivos, a la cual Zumthor (2006) denomina “consonancia de los materiales”. Esta especie de alquimia, no solo nos lleva a imaginar un escenario natural que se apodera atemporalmente de la arquitectura, sino que nos cuenta una historia constructiva, un relato que combina lo estructural con lo conceptual, y que se expresa a través de lo gráfico.

Además de los personajes, el material y los elementos de ambientación, en las imágenes que configuran los dos paneles existe una serie de ejemplos de imperfecciones controladas que también aportan sustancialmente, aunque a veces de manera sutil, a la narrativa visual. Entre estos elementos



Figura 6. Consonancia de los materiales
Fuente: Archivo de los autores.

están: la capa de nubes en la implantación que intensifica la idea de una imagen aérea; lo irregular de los cultivos, los cuales a pesar de lo ortogonal de su patrón, se muestran con diferentes tonos, texturas y algunas anomalías en los surcos del arado; el césped irregular en cuanto a representación de crecimiento, superficie de proyección de sombreado, paleta de colores, y superposición de capas; los rayos solares que agregan una dimensión al contraste lumínico, donde el sol deja de lado su papel funcional de fuente de iluminación y pasa a ser un elemento más de la composición narrativa; los haces de luz que atraviesan el vidrio para contar el valor traslucido del material mientras intensifica la atmósfera natural del lugar; y los pequeños rastros de vegetación que crecen sobre las duras superficies de hormigón.

En otras palabras, la integración de imperfecciones controladas en la representación gráfica no se percibe como errores o defectos, sino como elementos que aña-

den carácter, historia y realismo a la narrativa visual, permitiendo que el proyecto se comunique de manera más efectiva y emotiva.

3.5. La Experiencia Estética

Del mismo modo, es importante contextualizar este análisis dentro del escenario discursivo de las competiciones arquitectónicas, donde la experiencia estética, definida por la interacción entre los seres vivos y su entorno, como sugiere Seguí (2008), adquiere un papel fundamental en el proyecto Rustic Whispers. Esta propuesta va más allá de la funcionalidad arquitectónica, al integrar elementos que reflejan una profunda comprensión del intercambio sensitivo entre la obra y el espectador, en línea con las reflexiones de Gadamer (1991) e Ingarden (1989). Es decir, las imágenes del proyecto no solo representan estructuras físicas, sino que también invitan a los espectadores a ser parte de una narrativa visual, que fusiona la belleza con el contexto cultural y natural.

Esta representación trasciende la apreciación visual para convertirse en una experiencia estética enriquecida que, además de reflejar el mensaje estético a través de símbolos y una intención clara (Eco, 1974), logra comunicar cómo la arquitectura dialoga con su entorno y con el observador, fomentando una comprensión más profunda y una conexión emotiva con cada uno de los involucrados. Este enfoque no solo satisface los criterios estéticos de la disciplina filosófica que trata lo sensible y lo bello, como señala Pedragosa (2009), sino que también mejora la competitividad de la propuesta, al ofrecer una visión cohesiva y significativa que responde tanto a las exigencias del *brief*, como a las expectativas estéticas y simbólicas del público y del jurado.

4. CONCLUSIONES

Para concluir, señalamos cómo la exploración de la "imperfección controlada" en

la gráfica digital arquitectónica, nos lleva a una apreciación más profunda de la relación entre la autenticidad de lo real y la comunicación a través de la representación visual. Es decir que, al integrar deliberadamente lo irregular y lo natural en nuestras representaciones, no solo reflejamos el mundo tal como es, sino que también infundimos nuestras obras con una profundidad y una riqueza que la perfección estéril no podría lograr.

De esto surge la concepción de que la belleza reside en la imperfección. Una declaración, aunque contradictoria en su superficie, se ha demostrado de manera convincente a través de las secciones anteriores. La inclusión de elementos como texturas desgastadas, sombras caprichosas y la presencia dinámica de la vida, revela una dimensión más humana y accesible de la arquitectura. Estas imperfecciones controladas no solo aumentan el realismo de las representaciones, sino que también enriquecen la narrativa visual, permitiendo que las historias de los espacios y sus ocupantes se desplieguen de manera más natural y convincente.

Asimismo, los elementos compositivos o la manera en que organizamos y presentamos los componentes visuales, actúan como el lenguaje a través del cual contamos la historia de un espacio. La selección de perspectivas, el equilibrio entre luz y sombra, y la armoniosa integración de colores y texturas, todos trabajan en conjunto para capturar y transmitir la esencia de un proyecto. Al priorizar estos aspectos, los arquitectos y diseñadores pueden guiar la percepción del espectador, destacar las características únicas del proyecto y fomentar una conexión emocional más profunda con la propuesta. Este proceso enfocado en los profesionales podría iniciar su aplicación desde la academia, con el fomento de una visión que genere una escuela de arquitectura o diseño, una reflexión crítica, en donde la imperfección controlada sea parte de todo el proceso creativo (Narvaez y Moya, 2019 y Rocchio, Bustamante y Baca Calderón, 2024).

Además, la integración de lo irregular y lo natural en la gráfica digital puede jugar un papel crucial en la sostenibilidad y la ética del diseño arquitectónico. Al representar fielmente la diversidad y la imperfección del mundo natural, se promueve una mayor conciencia y aprecio por el medio ambiente y los recursos naturales. Esto, a su vez, puede inspirar diseños más sostenibles y respetuosos con el entorno, reflejando un compromiso con la conservación y la responsabilidad ecológica.

Finalmente, a medida que avanzamos hacia un nuevo paradigma en la representación arquitectónica, es esencial que reconozcamos y nos apropiemos de la concepción de las imperfecciones controladas. Al hacerlo, no solo estamos creando imágenes más realistas y emotivas, sino que también estamos dirigiéndonos hacia un horizonte donde la arquitectura es más humana, más auténtica y conectada con el mundo natural y social que nos rodea.

7. REFERENCIAS

- Arnheim, R. (1979). *Arte y percepción visual*. Madrid: Alianza Forma.
- Beltrán, A. y Yépez Tito, A. (2022). Torre collage: metodología proyectual para el habitar en altura del siglo XXI. *Revista de Arquitectura*, 27(43), 100-119. <https://doi.org/10.5354/0719-5427.2022.68247>
- Beltrán-Montalvo, A. (2022). Carteles: Una herramienta gráfica para la crítica social dentro del contexto digital del aprendizaje arquitectónico. *Eídos*, 14(19), 13-23.
- Beltrán Montalvo, A. P., y Simbaña Escobar, P. R. (2019). Interacción digital entre el usuario y el espacio urbano: tecnologías que pueden transformar el tejido de la ciudad. *Eídos*, (13), 55-63. <https://doi.org/10.29019/eidos.v13i1.544>
- Capdevila, P. (2005). *Experiencia estética y hermenéutica: Un diálogo entre Immanuel Kant y Hans-Robert Jauss* [Tesis Doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona]. <http://hdl.handle.net/10803/5169>
- Carroll, H. (2023). *Lea este libro si desea tomar buenas fotografías*. Barcelona: Blume.
- Clément, G. (2007). *Manifiesto del Tercer Paisaje*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Colonnese, F. (2019). "Characters in search of an author". Human figures and storytelling in architectural design communication. *SHS Web of Conferences*, 64, 01009. <https://doi.org/10.1051/shs-conf/20196401009>
- Degen, M., Melhuish, C., Rose, G. (2015). Producing place atmospheres digitally: Architecture, digital visualisation practices and the experience economy. *Journal of Consumer Culture* (pp. 1-22). <https://doi.org/10.1177/1469540515572238>
- Dickinson, D. (2017). *Swipe left: How technology has skewed architectural competitions*. Common Edge. <https://commonedge.org/swipe-left-how-technology-has-skewed-architectural-competitions/>
- Eco, U. (1974). *La estructura ausente: Introducción a la semiótica*. España: Editorial Lumen
- Falcón Meraz, J. M. (2015). El espacio gráfico habitado: La Figura humana en la comunicación visual arquitectónica. *Arquitectura revista*, 11(1). <https://doi.org/10.4013/arq.2015.111.04>
- Gadamer, H. (1991). *La actualidad de lo bello*. Barcelona: Ediciones Paidós
- Ingarden, R. (1989). *Ontology of the Work of Art. The Musical Work, The Picture, The Architectural Work, The Film*. Ohio University Press.
- Koolhaas, R., y Miyoshi, M. (1997). XL in Asia: a dialogue between Rem Koolhaas and Masao Miyoshi. *Boundary 2*, 24(2), 1-19.

Krauel, J. (2010). *Contemporary Digital Architecture Design and Techniques*. Barcelona: Links International.

Narvaez, S., y Moya, R. (2019). Una visión académica centrada en el bienestar del estudiante y su directa relación con una Escuela de Arquitectura. *Eídos*, 14, 99-114. <https://revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos/article/view/611>

Norberg-Schulz, C. (1980). *Genius loci: Towards a phenomenology of architecture*. New York: Rizzoli.

Pallasmaa, J. (2005). *The Eyes of the Skin: Architecture and the Senses*. Wiley.

Pedragosa, P. (2009). Estética fenomenológica. La obra de arte arquitectónica. *Arbor*, CLXXXV(736), 355-367. <https://doi.org/10.3989/arbor.2009.i736.286>

Porreca, R., Brito, E., y Narvaez-Purchert, S. (2023). Producción del entorno urbano: un enfoque empírico hacia el concepto de espacio apropiado en Quito. *Eídos*, 16(22), 3-20.

Quintana, L., y Hermida, J. (2019). La hermenéutica como método de interpretación de textos en la investigación psicoanalítica. *SSRN Electronic Journal*, (pp.73-80). <https://doi.org/10.2139/ssrn.3593031>

Rocchio, D., (2024). *Arquitectura en movimiento, exploración teórica de la reconstrucción post-catástrofe como proceso dinámico*. Quito: Editorial Universitaria UTE.

Rocchio, D., Bustamante Ponce, F. X., y Baca Calderón, M. C. (2024). Convivir en la ciudad: Una reflexión sobre la percepción

de inseguridad en el espacio público. *Eídos*, 17(23), 3-13. <https://doi.org/10.29019/eidos.v17i23.1304>

Rocchio, D. y Domingo-Calabuig, D. (2023). The pre-design phase in the post-catastrophe intervention process. The case of Chamanga, Ecuador. *Bitácora Urbano Territorial*, 33(3), 85-98. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v33n3.109378>

Rocchio, D., Narváez, S., Beltrán, A, Simbaña, P., Jaramillo, P., Jácome, W., Álvarez, J., (2023). *Permanencias: Reflexiones académicas sobre identidad, IA, RA y dinámicas socioespaciales de la movilidad humana*. Quito: Editorial Universitaria UTE.

Rowe, C., y Koetter, F. (1979). *Collage City*. MIT Press.

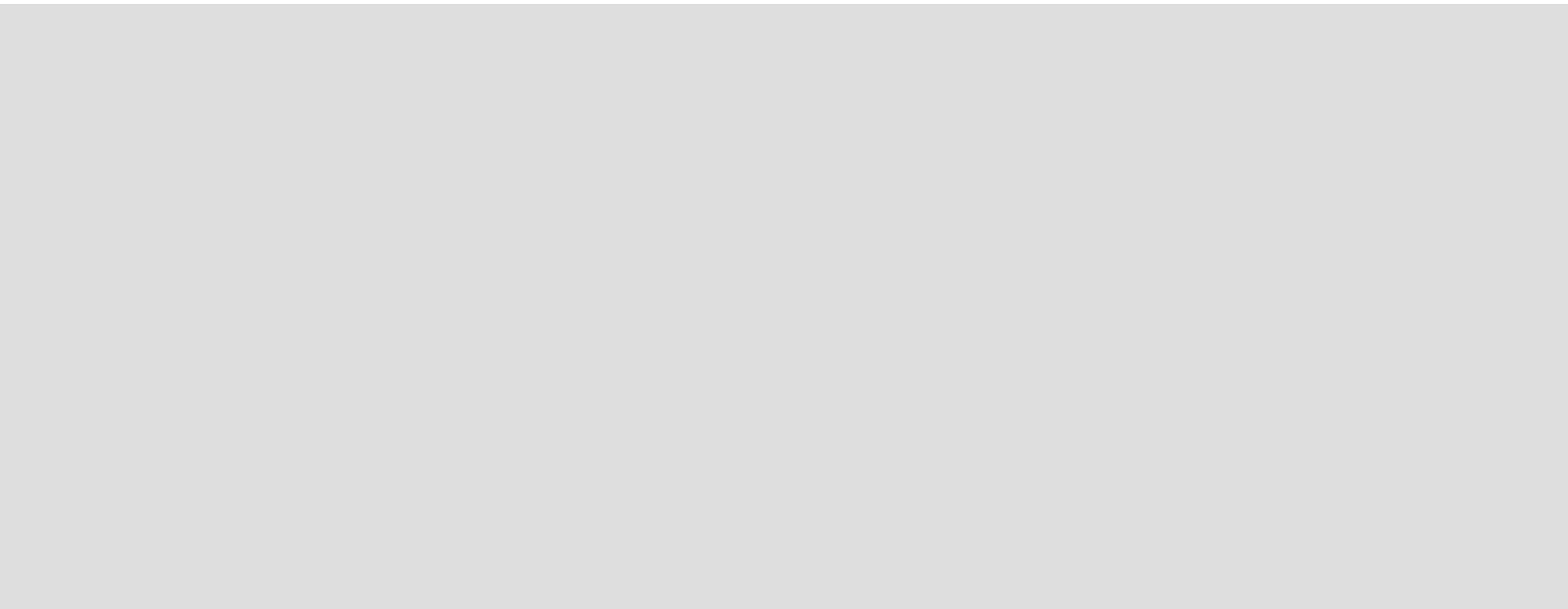
Sainz, J. (2005). *El Dibujo de arquitectura*. Reverte.

Seguí, J. (2008). Anotaciones para un imaginario del dibujar, *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*, 13(13), 70-81. <https://doi.org/10.4995/ega.2008.10270>.

Smitheram, J., Nakai Kidd, A., y Meekings, S. (2018). Affective logic of competition images. *Visual Studies*, 33(3), 264-279. <https://doi.org/10.1080/1472586x.2018.1524267>

TerraViva. (2023). *Rural Housing: The Adaptive Reuse of an Italian "Cascina"*. <https://www.terravivacompetitions.com/rural-housing-competition-2023/>

Zumthor, P. (2006). *Atmósferas: Entornos Arquitectónicos – Las cosas a mi alrededor*. Gustavo Gili.



Tejiendo la Planificación Rural: Una Clasificación Morfológica para las Comunas Andinas. El Caso de Flores, Ecuador

Stitching Rural Planning: A Morphological Classification for Andean Communes. The Case of Flores, Ecuador

EÍDOS N°24
Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo
ISSN: 1390-5007
revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos

¹Riccardo Porreca, ²Francisco Caza, ³Diana Paz

¹Institute of Regional Science, Karlsruhe Institute of Technology, (Gebäude 10.50), Kaiserstraße 12, 76131, Karlsruhe, Germany. riccardo.porreca@kit.edu. ORCID: 0000-0002-5884-8210

²Investigador independiente, Quito, Ecuador. crfa92425@ute.edu.ec. ORCID: 0009-0003-7054-1312

³Centro de Investigación de Políticas Públicas y Territorio, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales-Ecuador, Pradera y Diego de Almagro, Quito, Ecuador. dmpazfl@flacso.edu.ec. ORCID: 0000-0002-0253-1126

Resumen:

La digitalización en la representación gráfica arquitectónica, a pesar de las altas tasas de urbanización en América Latina, las áreas rurales aún albergan una parte importante de la población. Según datos a 2022, del Banco Mundial, Ecuador cuenta con una población rural del 35 %, caracterizada por un bajo acceso a servicios públicos e infraestructura adecuada. Además, su configuración territorial en la mayoría de casos está representada por comunidades indígenas con autonomía, definidas como comunas, lo que implica un marco de planificación diferenciado y que requiere de una gobernanza efectiva. Esta investigación tiene por objetivo proporcionar herramientas analíticas y nuevas informaciones espaciales para la caracterización territorial y la comprensión de la complejidad espacial, tomando como estudio de caso la parroquia rural de Flores, ubicada en la provincia de Chimborazo. Los resultados muestran una clasificación morfológica a modo de documentación cartográfica, con base en un sistema de tres grandes criterios y nueve indicadores por cada asentamiento, que apunta a complementar los análisis espaciales a servicio de la planificación rural, en el marco normativo del Ecuador.

Abstract:

Despite high urbanization rates in Latin America, rural areas are still home to a significant portion of the population. According to World Bank data from 2022, Ecuador has a 35% rural population characterized by low access to public services and adequate infrastructure. In addition, its territorial configuration in most cases is represented by indigenous communities with autonomy, defined as communes, which implies a differentiated planning framework and requires effective governance. This research aims to provide analytical tools and new spatial information for territorial characterization and understanding of spatial complexity, taking as a case study the rural parish of Flores, located in the province of Chimborazo. The results show a morphological classification by way of cartographic documentation based on a system of three major criteria and nine indicators for each settlement, which aims to supplement spatial studies in support of rural planning in the regulatory framework of Ecuador.

Palabras claves: Planificación rural, clasificación morfológica, comunas rurales, asentamientos, Ecuador.

Keywords: Rural planning, morphological classification, rural communities, settlements, Ecuador.

1. INTRODUCCIÓN

La imagen del paisaje rural tiene rasgos muy comunes en el imaginario colectivo, pues su base es la fuerte presencia de cultivos y vegetación herbácea y arbustiva. En medio de este escenario, el componente urbanizado emerge con claridad, como un elemento residual o secundario, en tanto el tratamiento sobre el territorio rural ha dejado de lado, durante mucho tiempo, al componente espacial y mucho más al morfológico (Halfacree, 1995). El abordaje científico alrededor del estudio de la ruralidad, a menudo tiene por base definir criterios e indicadores medibles, que proporcionen información útil para calcular algún tipo de índice. Esto a modo de enfrentar cuestiones emergentes como la rururbanización y la transformación antrópica del suelo periurbano y rural (Bauer, 1976; Fernández de Córdoba, 2019; Levy, 1999; Ortiz-Báez et al., 2021).

A pesar de las altas tasas de urbanización en el mundo, el estudio sobre la ruralidad sigue vigente. Este ha comprendido a su vez definiciones asociadas al género, salud, turismo, accesibilidad y desarrollo regional, diversidad étnica, seguridad alimentaria y persistencia de la ruralidad en contextos de alta expansión urbana (Caschili et al., 2015; Chung, 2013; Hauenstein et al., 2006; Sánchez et al., 2018; Saxena, 2018; Varghese et al., 2021). De acuerdo con la base de datos Web of Science (WOS), al 2023 la consulta sobre ruralidad (*rurality*) arroja 4159 resultados a nivel mundial, aumentando la producción desde 2011. Mientras que para América Latina el resultado es de 309 artículos, este se disminuye si se seleccionan solo países andinos (con 149 resultados). De estos, sólo 14 artículos derivan de análisis sobre la ruralidad en Ecuador (Acosta, 2021; Alvarez-Gamboa et al., 2023; Ariza-Montobbio & Olarte, 2021; Bermeo, 2018; Cárdenas, 2020; Donoso & Sarmiento, 2021; Fernández Labbe & Cevallos, 2021; Granados et al., 2023; Herro-Olarte & Baena, 2022; Lobos et al., 2019; Palacios et al., 2022; Romero-Subia et al., 2022; Ulloa-Espíndola et al., 2023).

A partir de estas aproximaciones, el interés académico y político sobre la ruralidad se ha enfocado en producir información a pequeña escala sobre asentamientos y sus dinámicas culturales y sociales (Brooks, 2020; Dirven, 2004; Dirven & Candia Baeza, 2020; Husa & Morse, 2022; Jacquet et al., 2016; Wolfe et al., 2020). Estas enfatizan en la relevancia que tiene la definición de tipologías rurales para el logro de políticas efectivas que responden a identidades locales y regionales (Bánski & Mazur, 2016; Van Eupen et al., 2012). Conocer más de cerca las formas de los asentamientos y sus procesos morfogenéticos a lo largo del tiempo, puede aportar a la construcción de información valiosa sobre las conurbaciones (Dovey et al., 2020), favoreciendo así una toma de decisiones *bottom-up*. Sin embargo, no sólo el contexto físico es relevante en estos análisis, sino también la forma en que se habita un lugar (Augé, 2009; Lefebvre, 2016).

En América Latina la población rural cada vez es más baja. Para 1961 la región concentraba el 50 % de población en áreas rurales, mientras que para el 2022 esta cifra solo alcanza el 18 %. La población rural mundial, por su parte se mantiene en el 43 % (Banco Mundial, 2022). En los años 60, los países sudamericanos, en promedio tenían una población rural superior al 50 %, excepto en países como Chile, Argentina, Venezuela y Uruguay, que estuvieron entre el 31 y el 20 % (ver gráfico 1). Las altas tasas de urbanización, producto de la migración campo-ciudad, ha provocado que el interés por la planificación esté enfocado en resolver problemas asociados al uso de suelo urbano. Sin embargo, la ruralidad aún está caracterizada por mantener un fuerte vínculo con las ciudades, sea entorno a la provisión de alimentos, la salud, el cambio climático, las zonas de protección ambiental, el equilibrio hidrológico, la expansión urbana, la desigualdad, entre otros (Ducrot et al., 2010; Field et al., 2012; Méndez & Vieyra, 2014; Narchi & Cristiani, 2015; Soto & Alfie, 2019).

Para los países sudamericanos las tasas se relacionan con el promedio latinoamericano. De acuerdo con los datos del Banco Mundial (ver gráfico 2), Ecuador tiene una población rural del 35%, Paraguay del 37% y por debajo Bolivia con el 29%. Mientras que países como Uruguay y Argentina están por debajo del 10%, con cifras entre el 4% y el 8% respectivamente. Seguido de países como Chile, Brasil y Venezuela con una población rural total al 12% y Colombia con un 18% (Banco Mundial, 2022). Esto implica que las políticas de planificación y ordenación del territorio en países como Paraguay y Ecuador, deben asumir la compleja situación de las áreas rurales, no sólo en torno a infraestructura, acceso a servicios y desarrollo económico, sino también al uso de suelo y a los componentes sociales que emergen en estos espacios.

La región andina está caracterizada por la prevalencia de comunidades étnicas en zonas rurales. Ecuador, particularmente en su contexto rural, al 2015 agrupaba un 63.3% de los pueblos y nacionalidades indígenas en la ruralidad, seguido de los montubios con un 49.5% y los afroecuatorianos con un 9.9% (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015). Esta presencia mayoritaria de pueblos y nacionalidades indígenas propicia un marco legislativo, que determina la nominación de las comunas dentro del componente suelo rural. Estas son definidas como centros poblados que no contemplan una categoría parroquial, pero que están sujeta a la jurisdicción de la parroquia urbana o rural dentro de la circunscripción territorial en la que se encuentren. Esta organización busca garantizar el ejercicio de los derechos colectivos de los pueblos indígenas auto-definidos como nacionalidades de raíces ancestrales, pero con una dependencia administrativa al Ministerio de Agricultura y Ganadería. La posesión de los bienes y el patrimonio es colectiva, en tanto su órgano oficial y representativo es el cabildo, integrado por miembros de la comunidad (Codificación Ley 2004-04 de Organización y Régimen de Las Comunas, 2004).

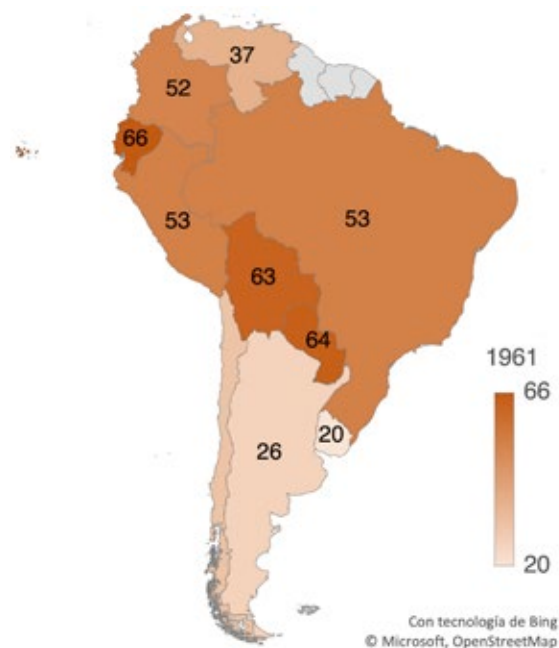


Gráfico 1. Población rural por porcentaje de la población total, en países sudamericanos en 1961
Fuente: Elaboración propia con base en datos de (Banco Mundial, 2022).



Gráfico 2. Población rural por porcentaje de la población total, en países sudamericanos en 2022
Fuente: Elaboración propia con base en datos de (Banco Mundial, 2022).

La ruralidad ecuatoriana, además, presenta altos índices de pobreza. Para junio de 2022 la pobreza rural era del 42.9%; mientras que la pobreza extrema fue del 22.7% (INEC, 2022). Por otro lado, la planificación concentrada en las ciudades, acentúa las (in) capacidades de los gobiernos locales por dar respuesta a las demandas sociales de estas zonas. La limitada capacidad técnica y de recursos para el diseño de políticas de planificación y ordenamiento en zonas rurales, aumenta el riesgo de desastres por amenazas físicas, limita el acceso a servicios como educación y salud, y ahonda las desigualdades territoriales. Un ejemplo de ello, es el Modelo de Equidad Territorial (MET), cuyo objetivo es organizar las transferencias del Presupuesto General del Estado (PGE), a los territorios, considerando sus competencias exclusivas e intentando garantizar un equilibrio vertical en los niveles de gobierno. No obstante, de estas transferencias el monto distribuido a los GAD parroquiales rurales llega solamente al 6 % (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015).

A partir de este contexto esta investigación toma como relevante el caso de las parro-

quias rurales en Ecuador. Como objetivo se planea proporcionar una clasificación morfológica de las comunas en parroquias rurales, que contribuya a profundizar la caracterización territorial, con información orientada a la reconstrucción del proceso morfogenético y que esté al servicio de la planificación. Esto como una forma de repensar la planificación rural dentro del marco normativo ecuatoriano y que permita redefinir capacidades en la toma de decisiones. Para ello, se propone responder a la pregunta ¿Cómo se configuran espacial y morfológicamente las comunas en el marco de la planificación rural en Ecuador? Además, se define de manera metodológica, un caso de estudio típico a la pregunta de investigación (Seawnght & Gerring, 2008) se toma la parroquia rural de Flores, perteneciente al cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.

Flores es la tercera parroquia más pequeña del Ecuador en términos de población. El 96.04 %, de 4546 habitantes, vive en área rural y la población económicamente activa depende de las actividades agrícolas (INEC, 2011). Flores se caracteriza por la presencia de diferentes etnias denomi-



Ilustración 1. Parroquia de Flores, Chimborazo
Fuente: Gad Parroquial de Flores

nadas ayllus, donde cada apellido tiene su propia tierra como patrimonio ancestral inalienable. Hasta 1918, Flores perteneció a seis grupos de viviendas llamados caseríos: Caliata, Santa Rosa, Naubug, Gompueñe, Basquitay y Pusetu, y en la actualidad comprende 27 comunas, cada una de ellas dirigidas por un presidente y organizada bajo el liderazgo parroquial. Flores es parte del principal sistema de agua del río Guamote, cuyas quebradas forman un sistema de distribución hídrica útil a la agricultura. De acuerdo con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (2015-2030), Flores es una de las cuatro tierras dedicadas a la producción de cultivos de maíz en el área rural del cantón Riorbamba; de hecho, gran parte del territorio con modificación antrópica, es utilizado en la actualidad para la agricultura comercial y de subsistencia.

2. LA PLANIFICACIÓN RURAL EN ECUADOR DESDE EL MARCO DE DESCENTRALIZACIÓN: UNA REVISIÓN NORMATIVA

El sistema normativo ecuatoriano reconoce la multiculturalidad y a las etnias que caracterizan el país. Reconoce 14 nacionalidades que pertenecen a sitios y áreas distintas habitadas desde la antigüedad;

tanto así que la Constitución del 2008 plantea una estructura de gobierno descentralizado, que garantiza su autonomía y reconoce las culturas y territorios. En la materialización de este propósito, el Código Orgánico de Organización Territorial (Cootad), define a “los gobiernos autónomos descentralizados y regímenes especiales previstos en la Constitución” (Código Orgánico de Organización Territorial, 2010, Art. 5) y contempla la asignación obligatoria de competencias a los GAD. Por su parte, La Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo (Lootugs), define una estructura de gobierno en niveles: (i) el gobierno central, (ii) los gobiernos regionales autónomos, (iii) los gobiernos provinciales, (iii) los gobiernos municipales y (iv) los gobiernos parroquiales. Además, define los regímenes especiales como los distritos metropolitanos, el Consejo de gobierno de la provincia de Galápagos y las circunscripciones territoriales de pueblos y nacionales indígenas, afroecuatorianos y montubios.

Las competencias definidas en el marco legislativo se categorizan en: exclusivas, concurrentes, privativas, adicionales y residuales. En tanto, las competencias exclusivas de los niveles de gobierno se asocian a la seguridad, los servicios pú-

Tabla 1. Competencias exclusivas de las parroquias rurales

Ejes	Competencias
Planificación	Planificar el desarrollo parroquial y su correspondiente ordenamiento territorial, en coordinación con los GAD provinciales y municipales. Planificar, construir y mantener la infraestructura física, los equipamientos y los espacios públicos de la parroquia. Planificar y mantener, en coordinación con los gobiernos provinciales, la vialidad parroquial rural.
Gestión	Incentivar el desarrollo de actividades productivas comunitarias, la preservación de la biodiversidad y la protección del ambiente. Gestionar, coordinar y administrar los servicios públicos que le sean delegados o descentralizados por otros niveles de gobierno. Promover la organización de los ciudadanos de las comunas, recintos y demás asentamientos rurales, con el carácter de organizaciones territoriales de base. Gestionar la cooperación internacional para el cumplimiento de sus competencias. Vigilar la ejecución de obras y la calidad de los servicios públicos.

Fuente: Elaboración propia con base en (Consejo Nacional de Competencias, 2021).

blicos, el ambiente y la infraestructura. Particularmente, la Constitución del 2008, define ocho competencias exclusivas y una de asignación permanente, a través del MET, a las parroquias rurales (ver tabla 1). Además, crea el Consejo Nacional de Competencias (CNC), conformado por el gobierno central y los niveles de gobierno.

El rol de los gobiernos parroquiales se definió antes de la expedición del Cootad, en el año 2000, con la aprobación de la Ley Orgánica de las Juntas Parroquiales Rurales, que planteó lineamientos sobre su funcionamiento y establece deberes y atribuciones de las juntas parroquiales, en tanto reconoció a estas como organismos del régimen seccional autónomo (Conagopare, s.f.). Con la aprobación del Cootad y el proceso de descentralización ecuatoriano, se define el rol de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD), parroquiales y rurales, y se conforma el Consejo Nacional de Gobiernos Parroquiales Rurales del Ecuador, (Conagopare). Las parroquias rurales se constituyen entonces como “circunscripciones territoriales integradas a un cantón a través de ordenanza expedida por el respectivo concejo municipal o metropolitano” (Código Orgánico de Organización Territorial, 2010, Art. 25).

Con relación a la planificación territorial, la Lootugs clasifica al suelo rural entre (i) suelo rural de producción, destinado a actividades agrícolas, ganaderas, forestales; (ii) suelo rural para aprovechamiento extractivo, enfocado en realizar actividades extractivas de recursos naturales no renovables, con garantía de la naturaleza como sujeto de derecho; (iii) suelo rural de expansión urbana, con potencial uso urbano, de acuerdo a los planes de uso y gestión del suelo (PUGS); y (iv) suelo rural de protección, dirigido a conservación ambiental (Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión Del Suelo, 2016).

Con el proceso de descentralización la capacidad de los GAD parroquiales rurales se ha definido como débil. De acuerdo con los datos del Consejo Nacional de Compe-

tencias, los puntos con mayor debilidad se enfocan en la gestión y la regulación, y dentro de esto, la categoría con más baja puntuación es la planificación. De este informe, tan sólo el 37 % de los GAD parroquiales rurales definió lineamientos de política en temas de planificación territorial (Consejo Nacional de Competencias, 2021). Entre los principales aspectos que definen esta deficiencia se encuentra la falta de personal técnico que limita el diseño de PDOT (Planes de desarrollo y ordenamiento territorial), articulación con la planificación cantonal y provincial y generación de proyectos, principalmente (Consejo Nacional de Competencias, 2021, p. 29).

3. EL RÉGIMEN DE COMUNAS EN EL CONTEXTO RURAL DEL ECUADOR

La comuna está concebida como un territorio colectivo en el marco del reconocimiento del Estado plurinacional. En general, pertenecientes a comunidades indígenas ancestrales cuya definición del suelo parte de un principio legal inalienable. La organización de las comunas viene desde la Ley de Comunas en 1937, con derechos y garantías fortalecidas en la Constitución de 1998 y de 2008. Esta ley estuvo pensada como una forma de defender el territorio colectivo de las reformas gubernamentales, coexistir con el marco legal nacional, pero a su vez fortalecer procesos de autogobernanza local, basados en la autonomía.

En términos de uso y gestión del suelo, el régimen de comunas considera el suelo como propiedad comunal. Aunque la Ley de Comunas permitió la venta de tierras comunales, en la medida en que se tenga la aprobación de la comunidad, la lucha de los pueblos ha estado enfocada en mantener la representatividad sobre el suelo, en el marco de los cambios hacia la urbanización de suelo. El caso de Quito, por ejemplo, plantea la presencia de comunas en un espacio urbano compartido. Con la reforma agraria de los años 60, las comunas se fortalecieron e impidieron la aplicación del decreto presidencial, que

obligaba a disolver esta organización colectiva (Goodwin, 2016). Los logros indígenas en torno a la tierra se vieron materializados en la Constitución de 1998, en la cual se concibió a la tierra de las comunas como inalienable, inembargable e indivisible (Rayner, 2019, p. 46). Para 2008, con la nueva Constitución, se ratifica este principio y se complementa con el derecho a la autoorganización, administración de justicia y consulta.

Los cambios morfológicos y sociales en los últimos años, han generado que la composición agrícola y campesina de las comunas cambie. Es posible encontrar en algunos contextos, comunas enmarcadas en lo urbano, cuya producción agrícola ha pasado a manos del comercio y la vivienda. Aunque es fácil encontrar la apropiación de la tierra como parte de su cultura ancestral, los cambios sobre el suelo han implicado un nuevo desafío al régimen de comunas y su concepción comunal. Cada vez se hace común las luchas internas por la compra y venta de tierra entre comuneros, o las negociaciones con entidades externas por la delimitación del suelo urbano y suelo rural-comunal, o más aún, la reconfiguración territorial y social en el marco de la planificación territorial de las parroquias rurales. “Desde la perspectiva de las comunas, la planificación municipal es vista como una imposición desde arriba que afecta negativamente sus vidas” (Rayner, 2019, p. 63).

En este sentido, el Cootad es ambiguo al reconocer la autoridad territorial de las comunas. Las decisiones en torno a la zonificación, delimitación de obras públicas, urbanización, dotación de servicios, entre otros, afecta las decisiones comunales en diferentes sentidos, lo que hace compleja la planificación territorial en contextos rurales. Por su parte, la Ley Orgánica de Territorios Rurales y Territorios Ancestrales, en el artículo 11 estima la orientación productiva de la tierra, sin afectaciones ambientales y que garantice la seguridad y soberanía alimentaria. No obstante, las tierras comunales están sujetas al derecho

administrativo, por parte del Ministerio de Agricultura y Ganadería (Egas et al., 2021). La propuesta, en este aspecto normativo, es compatibilizar indicadores morfológicos asociados a una reconfiguración territorial.

Así, este estudio está centrado en comprender las dinámicas de un territorio rural caracterizado por la presencia de comunas en régimen de autonomía. Este trabajo propone una clasificación de patrones espaciales de caracterización territorial, con un enfoque complementario a las herramientas tradicionales utilizadas para representar la parroquia Flores. En concreto, intenta contribuir a detectar la identidad espacial de las áreas analizadas y crear nuevo conocimiento orientado a entender el desarrollo que pueden tener ciertas porciones del territorio a mediano plazo (Pauta-Calle, 2019).

4. METODOLOGÍA

El estudio de áreas rurales remotas en el Ecuador presenta dificultades, por el limitado acceso a información oficial. El caso de estudio definido en la investigación se caracteriza por la escasez de información con relación a: (i) cartografía actualizada, (ii) configuración morfológica de las comunas, (iii) desarrollo tipológico local de asentamientos rurales; y, (iv) registro de propiedad actualizado. Para dar respuesta a la pregunta de investigación en este contexto, se estableció una metodología empírica simplificada, que permitió generar datos relevantes en la identificación de patrones espaciales morfológicos y tipológicos. Estos dos criterios son estudiados a través de tres fases: (1) recopilación de datos tipológicos y morfológicos (levantamiento in situ), aprovechando la base de datos cartográfica-documental; (2) procesamiento de datos espaciales y definición de parámetros; y, (3) categorización de tierras homogéneas y mapeo. El carácter empírico de la metodología, la escasez de información previa y la ausencia de material académico relativo al caso estudio, hicieron necesaria la construcción de he-

herramientas analíticas *ad hoc*, que fueron debatidas y finalmente validadas a través de mesas de confrontación con investigadores expertos y profesores de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UTE de Quito, especialmente pertenecientes al área de Urbanismo, y coordinadores de los proyectos de investigación y vinculación con la sociedad sobre el desarrollo urbano de Quito (Cruz Cabrera et al., 2016), y los procesos arquitectónicos y urbanos en áreas rurales del Ecuador (Porreca et al., 2020; Rocchio & Domingo-Calabuig, 2023; Rocchio & Moya Barberá, 2017).

En la primera fase se recolectaron datos provenientes del registro catastral en línea y se complementó esta información con data de la oficina catastral local. Por su parte, las imágenes vectoriales disponibles solo en versión PDF, se actualizaron y verificaron, usando Google Earth Maps, y finalmente se realizó un trabajo de redibujo técnico con la herramienta ArcGis, para obtener mapas más confiables de cada comuna de Flores y así facilitar el proceso de análisis. La escasa información documental sobre la morfología y la ausencia de un registro tipológico ha sugerido un trabajo de campo, durante el cual se realizó un levantamiento de las 27 comunas, con el fin de contrastar la información gráfica obtenida del registro catastral y conocer información tipológica sobre la relación edificación-parcela-manzana y la tipología de la edificación. El proceso de reconocimiento visual se ha realizado con una ficha basada en la posición del edificio en la parcela y en su asentamiento tipológico. Vale la pena mencionar que, debido a la falta de información histórica en el registro catastral público, no fue posible realizar un análisis morfogenético, sino solo un levantamiento del *statu quo*.

La segunda fase fue el procesamiento de datos espaciales y la definición de parámetros. Para ello, se establecieron tres categorías morfológicas: (i) forma, que describe un patrón morfológico-geométrico y detecta si un asentamiento es céntrico, difuso o lineal; (ii) continuidad, que define

la conexión o interrupción morfológica de la comuna entre continuo y discontinuo. Para ello se realizó un reconocimiento cartográfico basado en el principio de simplificación morfológica; es decir, reconducir el asentamiento analizado a un esquema morfológico general y sintético que cuenta con los elementos y figuras geométricas de base; y, (iii) la compacidad, que identifica la densidad del tejido arquitectónico entre compacto y disperso. Esta categoría se codifica con base en la observación in situ que define, como aspecto recurrente en todas las comunas, una expansión de los asentamientos de hasta un radio de 1000 m desde el centro geométrico de la comuna, con una densidad máxima de edificación en un radio de 500 m, lo que lleva a establecer dos ratios, indicando como compacto el asentamiento con el número mayor de edificios en los 500 m y, disperso, con un número de edificios en la ratio 500 m, inferior que los 1000 m (ver tabla 2). Para facilitar la lectura de las áreas analizadas, se definen cuadrantes de 1000 m de lado que resultan la base cartográfica del estudio a detalle (Ilustraciones 5 y 6)

Esta investigación intenta también definir una línea base acerca de la tipología edificatoria mediante la aplicación de dos indicadores: (1) posición del edificio en la parcela, (2) asentamiento tipológico. Estos elementos analíticos, fueron diseñados y aplicados en proyectos de investigación y vinculación con la sociedad en sectores rurales del Ecuador por la Universidad UTE de Quito (...), por lo que se consideró oportuno proponerlos en las mesas técnicas y, previo aval de los expertos, se procedió consecuentemente a implementarlos en vía experimental también para este caso estudio.

El primer indicador detecta seis formas diferentes de ocupar la parcela para comprender la célula morfológica en la realización del tejido de asentamiento (figura 2), así: esquinera, cuando el edificio ocupa la esquina de la parcela; cabecera, el edificio ocupa la línea del frente; intermedia (1 y 2) el edificio permanece en el medio, de

lado a lado; bloque, el edificio ocupa toda la parcela; interior, el artefacto permanece en el centro con espacio entre edificios y la línea de parcela. Los datos estadísticos han sido procesados con el fin de identificar una tendencia en la parroquia.

El segundo es el relativo al asentamiento tipológico; es decir, la característica primordial del edificio en su proceso constructivo que, de alguna manera, define un trato distintivo originario. Este se enfoca en el desarrollo volumétrico al nivel de detalle 1. Para ello se han utilizado seis parámetros simples y empíricos: línea de fábrica, cuando la fachada crece perpendicularmente en el límite de la parcela; retiro, cuando la fachada comienza unos metros atrás de línea de fábrica; retranqueo, describe el retiro de la planta baja con respecto a la línea de fábrica, mientras que del segundo piso hasta el

último sobresalen hasta la línea de fábrica; semiadosada, cuando dos edificios comparten una parte; adosada, cuando comparte una pared entera; aislado, cuando el edificio se encuentra solo en una parcela (figura 3).

La tercera fase desarrolla una clasificación morfológica de las comunas con características homogéneas, a través de códigos morfológicos. Los nueve códigos se conforman uniendo los resultados de las tres categorías morfológicas aplicadas (forma, compacidad, continuidad); es decir, la suma de las configuraciones que describen la comuna (ver figura 4). Por ejemplo, un asentamiento difuso (forma), discontinuo (compacidad) y compacto (continuidad), tendrá el código DDC. Con esta información clasificada y organizada se procede al mapeo.

Tabla 2. Patrones morfológicos de las comunas de Flores

Categorías	Configuraciones	Descripción
Forma	Céntrico	Concéntrico alrededor de la intersección de calles
	Lineal	Con distribución lineal a menudo alrededor de una calle
	Difuso	Distribución indefinida, patrón parcialmente lineal y céntrico
Continuidad	Continuo	Tejido sin interrupción
	Discontinuo	Tejido interrumpido o no contínuo
Compacidad	Compacto	Mayor densidad (d) de edificios en un rango de 500 m (d > 50 %) que en 1000 m
	Disperso	Menor densidad (d) de edificios dentro de un rango de 500 m (d <50 %) que en 1000 m

Fuente: Caza F, 2019.



Ilustración 2. Posición en la parcela
Nota: Desde la izquierda: esquinera, cabecera, intermedio 1, intermedio 2, bloque, interior. Fuente: Universidad UTE, Quito-Ecuador, archivo del proyecto de investigación "Arquitectura en movimiento en San José de Chamanga".

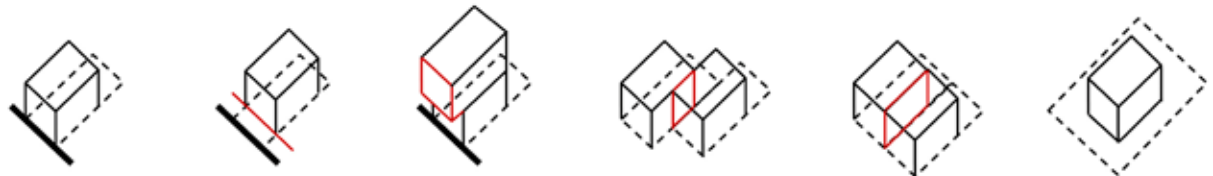


Ilustración 3. Asentamiento tipológico
Nota: Desde la izquierda: línea de fábrica, retiro, retranqueo, semiadosada, adosada, aislado. Elaboración: propia.

Nuevo código	=	Configuración forma	+	Configuración continuidad	+	Configuración compacidad
--------------	---	---------------------	---	---------------------------	---	--------------------------

Ilustración 4. Generación de nuevos códigos morfológicos
Fuente: Elaboración propia.

5. RESULTADOS

El análisis documental de la fase uno ha retornado datos sobre las densidades humanas y del tejido construido de las 27 comunas. Configurando el escenario típico rural, donde la explotación de la tierra se retorna a bajas densidades de habitantes por km² (76 hab/km²), así como densidad de edificios por km² (64 ed/km²) (ver tabla 3).

El análisis de tres categorías arroja un modelo general morfológico aparentemente no homogéneo. La forma de las comunas no sugiere un marco específico y reconocible (ver figura 5).

Sin embargo, las combinaciones de resultados generan una clasificación que evidencia configuraciones espaciales en

los asentamientos. En cuanto al criterio de forma, la tendencia del asentamiento rural produce una configuración lineal, mientras que la forma céntrica alcanza solo el 11 % y la difusa el 37 %. En el caso del análisis de continuidad, los resultados demuestran que las comunas rurales tienden a formar una configuración discontinua o interrumpida (59 %), aunque el 41 % de estas presenta un tejido poblacional sin interrupciones. Por último, la categoría de compacidad no tiene una tendencia marcada, de hecho, el tejido de construcción disperso representa el 52 % de las comunas, mientras que el tejido compacto alcanza el 48 %. La combinación específica de los seis criterios de análisis, produce entonces, una nueva clasificación. De hecho, como se demuestra en la tabla 4, se han configurado ocho unidades morfológicas complejas.

Tabla 3. Densidades de las comunas de Flores

	COMUNA	km ²	Hab.	Habitantes/ km ²	Núm. viviendas	Viviendas /km ²	Núm. edificios	Edificios/ km ²
1	Guantul Chico	0,33	172	521	51	155	57	173
2	Santa Ana de Yalligchi	1.16	202	174	73	63	137	118
3	Flores	1.24	146	118	68	55	141	114
4	Polugsa Sumak Kawsay	1.07	73	68	29	27	66	62
5	Huancantuz	0.57	215	377	68	119	70	123
6	Puesetus Chico	2.16	104	48	41	19	128	59
7	Shungubug Chico	0.43	108	251	35	81	50	116
8	Caliata	1.07	99	93	39	36	141	132
9	Guantul Grande Central	3.24	158	49	43	13	231	71
10	Puesetus Llapapamba	0.49	65	133	27	55	111	227
11	Gompuene Central	0.84	159	189	58	69	164	195
12	Mirapamba	0.99	95	96	44	44	65	66
13	Rayopamba	1.43	208	145	65	45	104	73
14	Tumbug Lluishirum	1.79	98	55	47	26	94	53
15	Santa Rosa	2.84	174	61	71	25	152	54

16	Shungubug Grande	0.94	86	91	47	50	61	65
17	Gompuene San Vicente	2.93	152	52	63	22	113	39
18	Puesetus Grande	1.42	145	102	49	35	130	92
19	Yanguad	0.71	57	80	25	35	67	94
20	Naubug	8.11	203	25	154	19	347	43
21	El Obraje	1.68	167	99	71	42	138	82
22	Laurel Gompuene	1.92	105	55	46	24	86	45
23	Puchi Guallavin	1.22	117	96	38	31	82	67
24	Basquitay Quillincocha	3.73	110	29	39	10	111	30
25	Puesetus Alto	2.75	91	33	32	12	65	24
26	Galgualan	1.9	153	81	50	26	80	42
27	Pungalpug Verde Cruz	1.68	211	126	81	48	145	86
TOTAL		48.64	3673	76	1454	30	3136	64

Fuente: Caza F., 2019.

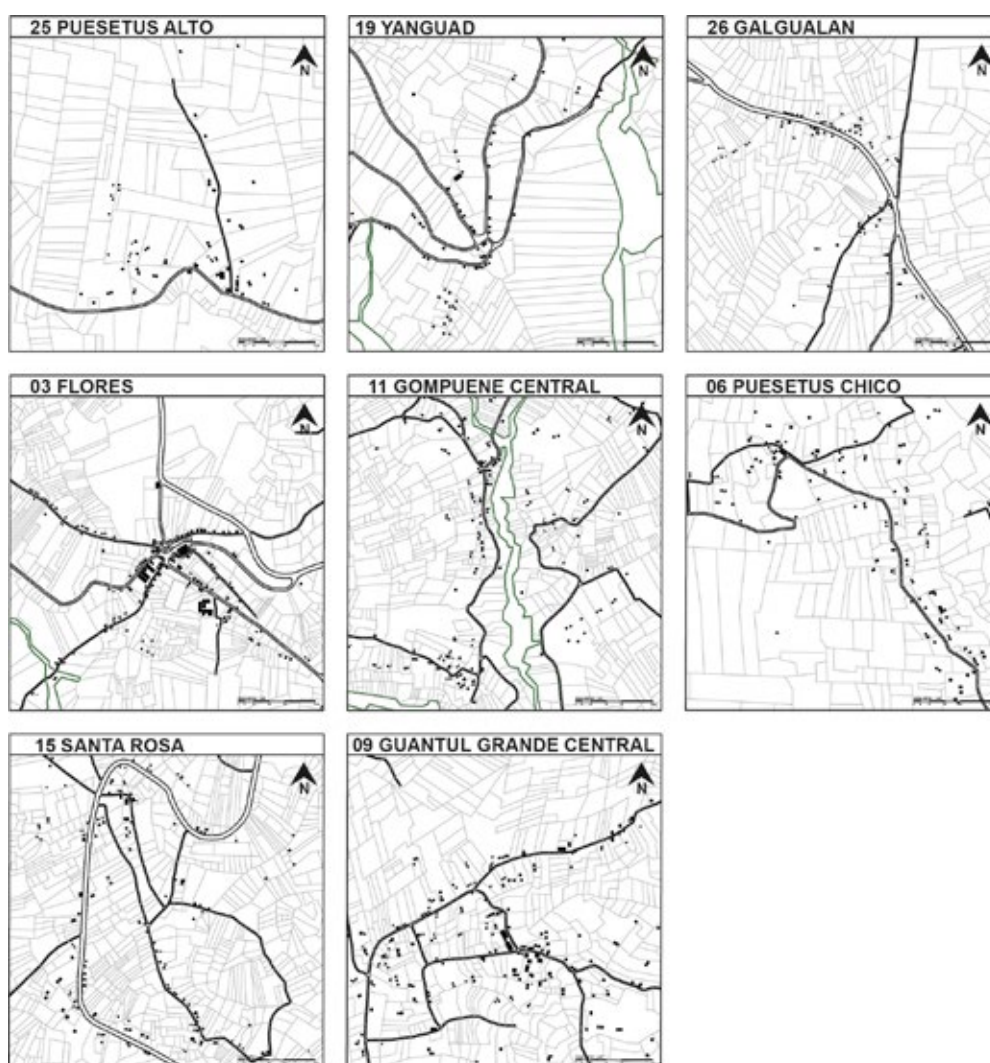


Ilustración 5. Patrones morfológicos de algunas comunas de la parroquia Flores
Fuente: Caza F., 2019.

Tabla 4. Criterios de agregación de grupos homogéneos y nuevos códigos morfológicos

COMUNA		CRITERIOS DE AGREGACIÓN DE GRUPOS							COD.
		FORMA			CONTINUIDAD		COMPACIDAD		
		Céntrico	Difuso	Lineal	Continuo	Discontinuo	Compacto	Disperso	
1	Guantul Chico		•			•	•		DDC
2	Santa Ana de Yalligchi			•	•		•		LCC
3	Flores	•			•		•		CCC
4	Polugsa Sumak Kawsay		•			•		•	DDD
5	Huancantuz			•	•		•		LCC
6	Puesetus chico			•	•			•	LCD
7	Shungubug Chico			•	•		•		LCC
8	Caliata			•	•		•		LCC
9	Guantul Grande Central			•	•		•		LCC
10	Puesetus Llactapamba		•			•		•	DDD
11	Gompuene Central		•			•		•	DDD
12	Mirapamba			•		•		•	LDD
13	Rayopamba		•			•		•	DDD
14	Tumbug Lluishirum			•	•		•		LCC
15	Santa Rosa			•		•		•	LDD
16	Shungubug Grande		•			•	•		DDC
17	Gompuene San Vicente		•			•		•	DDD
18	Puesetus Grande			•		•		•	LDD
19	Yanguad	•				•	•		CDC
20	Naubug			•	•		•		LCC
21	El Obraje		•			•		•	DDD
22	Laurel Gompuene			•	•			•	LCD
23	Puchi Guallavin			•		•		•	LDD
24	Basquitay Quillincocha	•	•			•		•	DDD
25	Puesetus Alto	•				•		•	CDC
26	Galgualan	•	•			•	•		DDC
27	Pungalpug Verde Cruz			•	•		•		LCC
TOTAL		3	10	14	11	16	13	14	
PORCENTAJE		11 %	37 %	52 %	41 %	59 %	48 %	52 %	

Fuente: Caza F., 2019.

La configuración más común en la parroquia de Flores es la forma lineal (L), y luce continua (C) y compacta, lo cual está presente en 8 comunas. De manera similar, la configuración DDD (difuso, discontinuo, disperso) aglutina 7 comunas que tienen la tendencia a ser contiguas. Los asentamientos lineales (L), discontinuos (D) y difusos (D) están presentes en 4 comunas, los DCC en tres y la configuración LCD en dos. La comuna de Flores es la única que se configura como céntrica, continua

y compacta (CCC), lo que resulta coherente con su condición de cabecera parroquial; mientras que Yanguad (CDC) y Puesetus Alto (CDD) son las únicas con estas características (ver figura 6). Las tres configuraciones con base en la forma central (CCC, CDC, CDD), se han graficado bajo la misma simbología para efectos de la investigación. Se define entonces como contiguas 8 comunas con la configuración lineal, continua y compacta (ver figura 7).

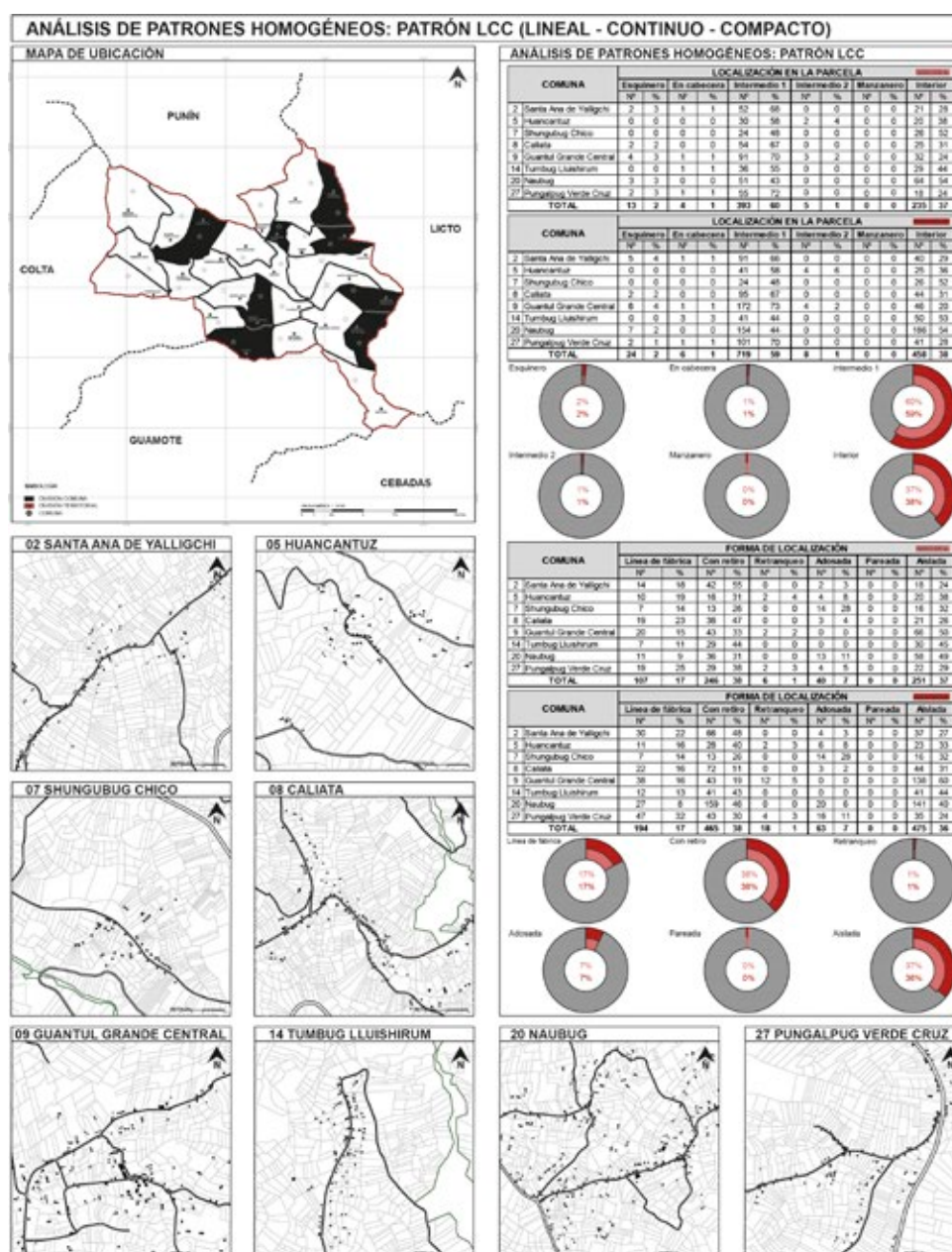


Ilustración 6. Asentamiento lineal, continuo y compacto
Fuente: Caza F., 2019.

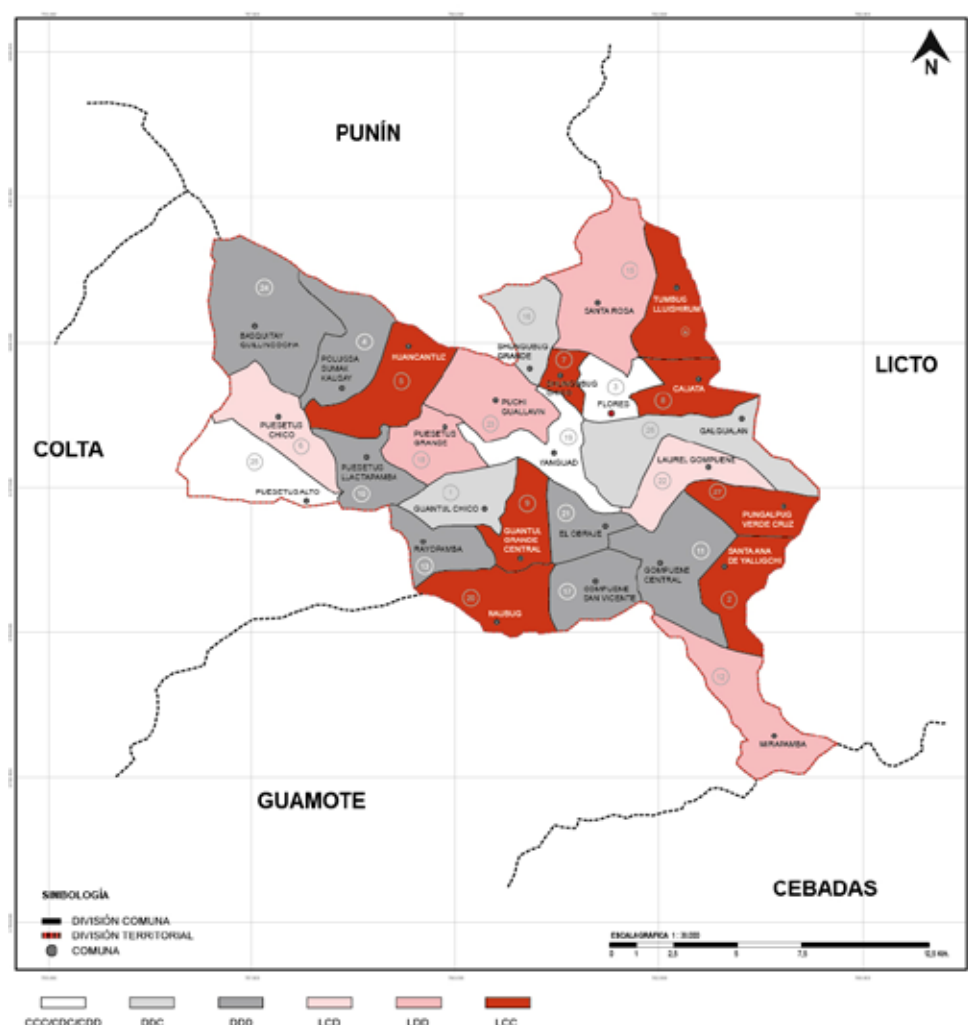


Ilustración 7. Clasificación morfológica de asentamientos rurales en la parroquia Flores
Fuente: Caza F., 2019.

En un segundo momento, los grupos morfológicos homogéneos han sido analizados aplicando dos parámetros tipológicos. La posición del edificio en la parcela (parámetro a) y asentamiento tipológico (parámetro b) en un radio de 500 m y luego en uno de 1000. Este análisis se realizó por cada comuna y luego se han comparado por grupo morfológico homogéneo. Los resultados evidencian la existencia de claros patrones en ambos parámetros, aún con algunos casos en los cuales el patrón posee un espectro más amplio. Concretamente se nota la tendencia a una posición intermedia 1 o interior, con respecto al parámetro (a); mientras se nota una tendencia a la tipología con retiro o aislada en el parámetro (b). En los casos CCC, LCC y LDD este último parámetro

presenta datos relevantes dentro de la tipología lineal de fábrica.

Los resultados del análisis tipológico realizado por grupos morfológicos arrojan en cambio una información más homogénea. Incluso con ocho unidades morfológicas diferentes, los parámetros tipológicos no cambian con el radio; en realidad, la localización del edificio en la parcela no tiene una diferencia relevante entre el radio de 500 m y el radio de 1000 m, pues tiene una variación máxima del 1 %. Como se evidencia en la tabla 5, el 60 y 61 % del tejido construido de la parroquia Flores se clasifica como intermedio 1 y un 35 % de interior. Por otro lado, la forma de posición presenta tres parámetros predominantes, como la línea de fábrica (17-18 %) el retiro (40.42 %) y el aislado (32-34 %).

Tabla 5. Patrones tipológicos de las comunas de la parroquia de Flores

PATRÓN 500 M		LOCALIZACIÓN EN LA PARCELA											
		Esquinero		En cabecera		Intermedio 1		Intermedio 2		Manzanero		Interior	
		Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
1	CCC, CDC, CDD	11	4	7	4	148	65	6	2	1	0	40	24
2	DDC	1	1	2	1	96	64	0	0	0	0	50	34
3	DDD	5	1	4	1	153	42	10	3	0	0	214	53
4	LCD	1	1	2	3	62	68	1	1	0	0	29	28
5	LDD	1	1	4	2	137	63	0	0	0	0	72	35
6	LCC	13	2	4	1	393	60	5	1	0	0	235	37
TOTAL		32	1	23	2	989	60	22	1	1	0	640	35

PATRÓN 1000 M		LOCALIZACIÓN EN LA PARCELA											
		Esquinero		En cabecera		Intermedio 1		Intermedio 2		Manzanero		Interior	
		Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
1	CCC, CDC, CDD	12	4	9	4	199	69	8	3	1	0	44	20
2	DDC	1	1	2	1	133	66	0	0	0	0	62	32
3	DDD	8	1	14	2	339	42	17	2	0	0	430	52
4	LCD	2	1	4	3	141	69	4	2	0	0	63	26
5	LDD	4	2	7	2	264	61	2	0	0	0	152	36
6	LCC	24	2	6	1	719	59	8	1	0	0	458	38
TOTAL		51	2	42	2	1795	61	39	1	1	0	1209	34

PATRÓN 500 m		ASENTAMIENTO TIPOLOGICO											
		Línea de fábrica		Con retiro		Retranqueo		Adosada		Pareada		Aislada	
		núm.	%	núm.	%	núm.	%	núm.	%	núm.	%	núm.	%
1	CCC, CDC, CDD	82	31	71	36	6	3	8	3	0	0	46	27
2	DDC	25	16	69	46	0	0	10	7	0	0	45	30
3	DDD	32	9	126	34	16	4	18	4	0	0	194	49
4	LCD	10	11	39	43	6	6	12	13	0	0	28	28
5	LDD	39	18	98	44	0	0	8	4	0	0	69	34
6	LCC	107	17	246	38	6	1	40	7	0	0	251	37
TOTAL		295	17	649	40	34	2	96	6	0	0	633	34

PATRÓN 1000 m		ASENTAMIENTO TIPOLOGICO											
		Línea de fábrica		Con retiro		Retranqueo		Adosada		Pareada		Aislada	
		núm.	%	núm.	%	núm.	%	núm.	%	núm.	%	núm.	%
1	CCC, CDC, CDD	102	30	90	36	8	3	10	4	0	0	63	26
2	DDC	39	19	93	47	0	0	12	6	0	0	54	28
3	DDD	87	12	280	36	22	3	28	3	0	0	391	46
4	LCD	25	13	98	49	12	6	18	8	0	0	61	25
5	LDD	72	17	196	46	4	1	16	5	0	0	141	32
6	LCC	194	17	465	38	18	1	63	7	0	0	475	36
TOTAL		519	18	1222	42	64	2	147	6	0	0	1185	32

Fuente: Caza F., 2019.

6. DISCUSIÓN

Este trabajo, aún sin la intención de definir universalmente la cuestión morfológica andina, se posiciona en un debate sobre la caracterización del territorio rural, con un abordaje complementario y no dependiente de los modelos corrientes. Por lo tanto, no quiere definir un umbral de justo o equivocado. Más bien, a través de un enfoque empírico y del *learning by observing*, pretende proporcionar un *statu quo* del caso de estudio, con la posibilidad de extender esta herramienta a contextos con características similares; para de esta forma, lograr una clasificación territorial con sus características específicas, al servicio de los modelos de desarrollo rural presentes y futuros. En este contexto, considerando que el Ecuador vive procesos rápidos de producción y destrucción del entorno urbanizado, que a menudo eliminan las trazas de la historia espacial tanto ancestral como más reciente, este estudio propuso un método que brinda resultados útiles sobre el conocimiento físico del territorio de la parroquia de Flores, poniendo las bases para futuros estudios morfogenéticos.

Los resultados han mostrado que el método empírico para categorizar el componente morfológico de asentamientos urbanizados en áreas rurales de Chimbo-razo, permite conocer los parámetros de forma, continuidad y compacidad. Estos tres componentes generan a su vez tres categorías de clasificación morfológica para asentamientos rurales, útiles para la caracterización territorial y a servicio de la planificación. En el caso de la parroquia de Flores, el territorio está caracterizado por 27 asentamientos en su mayoría lineales y discontinuos; sin embargo, demuestra que no está establecido un patrón de compacidad claro. Las configuraciones morfológicas detectadas activan discusiones que van más allá de la lectura de los datos. Si bien no existen patrones netos, es decir que las configuraciones parecen cambiar a menudo adentro del territorio parroquial (ilustración 7), un hallazgo relevante se hace palpable: existe una contundente re-

lación de los edificios con la infraestructura vial, señal que esta es el elemento catalizador del desarrollo de los asentamientos. Se presume, siendo ausente el respaldo cartográfico, que los servicios básicos corran a lo largo de la infraestructura principal, lo que fortalecería un desarrollo de este tipo. Sin embargo, faltando la información morfogenética del territorio, no se puede aclarar si estos asentamientos y su red vial remontan a asentamientos antiguos con relativos caminos y chaquiñanes o si, en cambio, lo que se observa es un resultado más bien reciente. Eso enfatiza la necesidad del debate académico sobre el conocimiento morfogenético de los territorios ecuatorianos, orientado a la memoria del hábitat original y de la forma del habitar, a servicio de una planificación equilibrada. Esta última afirmación, cobra más relevancia si se consideran los cambios catastróficos de los Andes ecuatorianos, que han cambiado la configuración de una porción de territorio del sur del país.

Otro elemento que resulta de la lectura de los cuadrantes, es la configuración de las parcelas respecto a los ejes de las carreteras. En algunos casos (por ejemplo, los cuadrantes 02.05, 08 y 27), las geometrías de las parcelas parecen tener una relación con la infraestructura, sea esa por el desarrollo perpendicular a la vía, paralelo o, como en el caso del cuadrante 08, siguiendo el radio de curvatura del eje. En otros casos, la relación entre parcelas e infraestructura parece no seguir patrones geométricos. Esta observación es un resultado colateral –y no esperado– a los objetivos de investigación y, por ende, necesitaría profundización, ya que se relaciona directamente al proceso morfogenético de la parroquia.

El mosaico de configuraciones morfológicas que emerge del análisis, remata con los datos de los indicadores tipológicos que demuestran la tendencia de edificios, que surgen en el medio de la parcela (intermedio 1 e interior), y distantes de la línea de fábrica (retiro y aislado), lo cual fortalece la idea común de la ruralidad en

torno a la tipología de un edificio unifamiliar de uno o dos pisos, generalmente aislado, rodeado de agricultura y alejado de otras edificaciones. Además, reafirma los patrones generales de la ruralidad, los cuales integran una baja densidad, tejido urbano disperso relacionado con la agricultura y la residencia, poca mezcla de usos, entre otros. Estos elementos definen un patrón de ocupación y utilización de la parcela que es visible también en las zonas periurbanas de las ciudades, bajo la etiqueta de agrícola-residencial. Esta categoría de uso de suelo es particularmente útil para la descripción de las comunas de Flores. Sin embargo, la escala netamente arquitectónica –que no está presente en esta investigación–, es crucial para completar un panorama completo del hábitat y forma de habitar. Si por un lado, la falta de patrones morfológicos estratégicos revela la ausencia de una planificación rural madura, por el otro, estos primeros –e incompletos– datos sobre la tipología arquitectónica sugieren que los pobladores siguen reglas o patrones espontáneos reconocibles y por ende codificables. Estos datos, cuando sean bien organizados, pueden favorecer una caracterización del territorio a servicio de la planificación rural.

Por último, la investigación sugiere, por un lado, un enfoque hacia la tecnología inteligente como la topografía con drones y, por el otro, la necesidad de convenios entre los GAD rurales. Asimismo, la digitalización de la información espacial y catastral, así como la realización de mapas actualizados y *shapefiles* disponibles, son necesarias para mejorar la gestión del patrimonio construido y los recursos naturales. Cabe mencionar que la condición cartográfica y de información espacial de las áreas rurales del Ecuador es diferente y discontinua. En los casos de asentamientos remotos y aislados, las imágenes satelitales o cartográficas disponibles pueden ser escasas, ausentes o de calidad insuficiente, para aplicar la metodología de redibujo y consecuente clasificación morfológica. Además, en tales contextos las condiciones geográficas, especialmente los desnive-

les, la vegetación alta y densa, así como el clima variable, complican o limitan la eficacia de la tecnología dron, operada por técnicos locales. Con esta premisa, es necesario aclarar que la metodología adhiere con mayor eficacia para la caracterización territorial de asentamientos andinos altos, caracterizados por presencia de vegetación herbácea y arbustiva, donde la transformación agrícola del territorio facilita la lectura morfológica.

Esta herramienta, por lo tanto, potencialmente puede ser adoptada por los GAD de parroquias rurales con características bien definidas, así como de entidades asociadas a la coordinación de la planificación en distintos niveles de gobierno. Este instrumento provee una metodología simplificada y más accesible a un panorama amplio de técnicos locales, lo que contribuye –a corto plazo–, a conseguir datos e informaciones espaciales para la caracterización territorial y, a largo plazo, provee información valiosa para reconstruir el proceso morfogenético de forma autónoma y no totalmente dependiente de instancias nacionales.

7. EL ABORDAJE DE LAS COMUNAS EN EL CONTEXTO RURAL

Esta investigación a su vez, se realiza en un contexto rural con presencia de 27 comunas. Esto implica en principio la autonomía territorial, la propiedad colectiva del suelo y el carácter agrícola del mismo. No obstante, la normativa que regula el territorio requiere de acuerdos comunes. La parroquia de Flores no es un caso aislado a los problemas subyacentes del suelo rural de las comunas en contextos urbanizados, por lo que nuevamente esta herramienta metodológica permite tener un acuerdo institucional con los pueblos ancestrales y la concepción del territorio. Primero, uno de los propósitos de las comunas es mantener condiciones que las caracterizan como suelo rural, no sólo porque así lo estipulan las leyes, sino porque hace parte de sus propias concepciones. Muchas comu-

nas se han enfrentado a la urbanización de sus parroquias, sobre las cuales persiste una lucha por mantener un suelo rural.

Segundo, el ordenamiento territorial hoy se enfrenta a la gestión del riesgo de desastres. Ecuador presenta zonas de alta amenaza que requieren de una toma de decisiones anticipada sobre el crecimiento de la ruralidad. Esto hace que la planificación territorial requiera prestar atención a la morfología rural. Las comunas por su parte juegan un rol relevante en la conservación del suelo; sin embargo, las condiciones de urbanización, producto de las transformaciones sociales y territoriales, conllevan la necesidad de tener herramientas de decisión conjunta entre comuneros y técnicos para mitigar el riesgo de desastres. Finalmente, contar con herramientas de ordenamiento del suelo, permite un fortalecimiento de los procesos de gobernanza multinivel, entre los cabildos, los GAD parroquiales rurales y la institucionalidad del gobierno central. Esto constituye un proceso de coordinación conjunta, que fortalece las capacidades de regulación, control de la expansión y definición de usos de suelo.

Si bien este artículo no ahonda sobre el contexto de las comunas en su planificación territorial, sí propone dejar abierta una agenda investigativa sobre el tema, asociada a los problemas que enfrentan en temas de uso y tenencia del suelo; pero a su vez, relativa a las tensiones propias de la planificación territorial entre cabildos y GAD parroquiales y municipales.

8. CONCLUSIONES

Esta investigación plantea una reflexión sobre el contexto de la planificación rural en el marco de la presencia de comunas y su caracterización territorial. Acorde con las competencias relacionadas a la planificación, las parroquias rurales se enfrentan a unas condiciones técnicas menores al momento de tomar decisiones. Sumado a esto, las capacidades institucionales asociadas al acceso y actualización de infor-

mación y herramientas de levantamientos de datos se tornan en un desafío pendiente por enfrentar. La propuesta para definir una configuración morfológica del asentamiento rural en la parroquia de Flores, tiene la intención de aportar en el estudio territorial de la ruralidad y asociar el complejo ordenamiento del suelo con las mejores decisiones.

Sumado a ello, la planificación territorial requiere las consideraciones sobre las condiciones propias de un Estado plurinacional, con respecto a las comunas. Se propuso entonces, un método simple y replicable, para que el personal no experto categorice los asentamientos urbanizados de las áreas rurales y así permita un mejor análisis y ordenamiento territorial. Adicionalmente, la realidad de las comunas como territorios ancestrales, representa no sólo un hecho local, sino andino. El desconocimiento de sus características socio-espaciales y morfotipológicas, llega a invisibilizar un hecho territorial que de alguna manera se ancla a un discurso más amplio. Al día de hoy, los modelos de gestión y desarrollo territorial son a menudo inspirados a principios divulgados por instituciones internacionales, que, sin embargo, raramente logran tener en cuenta las particularidades de territorios específicos. Por ende, la cultura y las prácticas locales de conceptualizar, organizar y gestionar el territorio, podrían desaparecer sin un adecuado proceso de reconocimiento, y consecuentemente la memoria del habitar y la identidad socio-espacial estarían en riesgo. La caracterización morfológica, por lo tanto, es útil para entender los elementos que constituyen la identidad física del territorio, ya que ayuda la construcción del proceso morfogenético, es decir el conocimiento de la formación y evolución de un asentamiento a lo largo del tiempo. En efecto, pasar por alto estas informaciones, invisibilizaría la vida rural, que constituye al día de hoy una parte importante de la dinámica socio-espacial del país.

Repensar la planificación rural no es cuestión de cambiar la normativa. Ya existen

principios asociados al Estado plurinacional, en el caso de las comunas, y también lineamientos en torno al ordenamiento del suelo, pero el problema que enfrentan los gobiernos más pequeños son las (in) capacidades. Los GAD parroquiales rurales carecen de información actualizada en términos del territorio, uno por las características propias de lo rural (en extensión), pero también por falta de recursos financieros y humanos. Este contexto no es exclusivo de Ecuador. Por lo general, a partir de los procesos de descentralización, los gobiernos con menores capacidades han aumentado la dependencia hacia el gobierno central o han limitado sus acciones dependiendo de los recursos con los que cuentan.

A grandes rasgos, este artículo plantea una agenda para explorar herramientas que permitan mejorar los complejos procesos de toma de decisiones a nivel parroquial. Si bien esta investigación no contempla lineamientos, sí considera que, en el marco de la descentralización, los gobiernos a nivel parroquial-rural, requieren superar las barreras de información, coordinación, en el marco de la gobernanza territorial. La selección de la parroquia Flores en este análisis, no es menor, puesto que es un caso típico de las fallas y limitaciones de la planificación rural. Repensarla, entonces, implica fortalecer la gobernanza a un multinivel, generar capacidades locales y desarrollar métodos simples que logren acoplarse a contextos complejos. La clasificación de la configuración morfológica del asentamiento urbanizado en áreas rurales, es evidencia de patrones de ocupación espacial, pero también de una fuerte persistencia por mantener la ruralidad vigente en Ecuador, máxime cuando las cifras demuestran a 2022, un 35 % de población rural, versus países como Colombia y Perú (con características similares), que tienen sobre el 20 % o menos.

Esto deja dos condiciones clave en la mesa. Una, Ecuador mantiene un componente rural, pero con una fuerte planificación enfocada a lo urbano. Esto se hace evidente en las herramientas que tienen

los diferentes niveles de gobierno, pero también en la forma de comprender y aplicar normas como el COOTAD a un espacio con menores capacidades y recursos. Y dos, la configuración del territorio rural navega entre dos características, la que tiene que ver con espacios cada vez más compactos producto de la rururbanización, y otros espacios altamente dispersos en la que los gobiernos parroquiales tienen mayor complejidad por dotar de servicios y proveer de bienes. En cualquiera de los dos sentidos, lo rural, en términos de planificación, tiene un propósito, sea agrícola, ambiental, turístico o de expansión, que este tipo de herramientas metodológicas busca exponer a la luz de la falta de información y de recursos.

9. REFERENCIAS

- Acosta, O. (2021). Micro Entrepreneurs in the Fisherman's Route, Province of Guayas. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(2), 375–382.
- Alvarez-Gamboa, J., Cabrera-Barona, P., & Jacome-Estrella, H. (2023). Territorial inequalities in financial inclusion: A comparative study between private banks and credit unions. *Socio-Economic Planning Sciences*, 87(A), 101561.
- Ariza-Montobbio, P., & Olarte, S. (2021). Socio-metabolic profiles of electricity consumption along the rural-urban continuum of Ecuador: Whose energy sovereignty. *Environment Development and Sustainability*, 23(5), 7961–7995.
- Augé, M. (2009). *Nonluoghi. Introduzione a una antropologia della surmodernità* (1st ed., Vol. 1). Eléuthera.
- Banco Mundial. (2021). *Población rural (% de la población total) - Ecuador* | DataBank. <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.RUR.TOTL.ZS?locations=EC>
- Banco Mundial. (2022). *Población rural (% de la población total) - Latin America & Cari-*

bbean | Data. Banco Mundial. <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.RUR.TOTL.ZS?locations=ZJ>

Bánski, J., & Mazur, M. (2016). Classification of rural areas in Poland as an instrument of territorial policy. *Land Use Policy*, 54, 1–17.

Bauer Gérard. (1976). *La rurbanisation ou la ville éparpillée* (1st ed., Vol. 1). Éditions du Seuil.

Bermeo, V. (2018). Innovative Entrepreneurships from Rurality. The case of Tungurahua in the Ecuadorian Sierra. *Revista Universidad y Sociedad*, 10(2), 94–99.

Brooks, M. (2020). Countering Depopulation in Kansas: An Assessment of the Rural Opportunity Zone Program. *Population Research and Policy Review*, 40, 137–148.

Cardenas, A. (2020). The Complex character of competitiveness in rural tourist destinations: considerations for tourism studies. *Revista Conrado*, 16(74), 225–230.

Caschili, S., De Montis, A., & Trogu, D. (2015). Accessibility and rurality indicators for regional development. *Computers Environment and Urban Systems*, 49, 98–114.

Chung, H. (2013). Rural Transformation and the persistence of rurality in China. *Eurasian Geography And Economics*, 54(5–6), 594–610.

Codificación Ley 2004-04 de Organización y Régimen de las Comunas, Pub. L. No. 2004-04, Ley 1 (2004).

Código Orgánico de Organización Territorial, Pub. L. No. Registro Oficial Suplemento 303, Asamblea nacional 1 (2010).

Conagopare. (n.d.). *Historia de Conagopare*. Consejo Nacional de Gobiernos Parroquiales Rurales Del Ecuador.

Consejo Nacional de Competencias. (2021). *Capacidad Institucional de los GAD Parroquiales Rurales*.

Cruz Cabrera, M., Rocchio, D., Freire, L., Martínez, J. C., Porreca, R., & Jácome, W. (2016). *HACER CIUDAD, CALDERÓN 2040* | Librería Carlos Fuentes. EDITORIAL UNIVERSITARIA UTE. <https://www.libreriacarlosfuentes.mx/es/producto/hacer-ciudad-calderon-2040>

Dirven, M. (2004). El empleo rural no agrícola y la diversidad rural en América Latina. *Revista de La CEPAL*, 2004(83), 49–69.

Dirven, M., & Candia Baeza, D. (2020). *Medición de lo rural para el diseño e implementación de políticas de desarrollo rural*.

Donoso, M., & Sarmiendo, F. (2021). Changing mountain farmscapes: vulnerability and migration drivers in the Paute River watershed, Southern Ecuador. *Journal of Mountain Science*, 18(7), 1902–1919.

Dovey, K., van Oostrum, M., Chatterjee, I., & Shafique, T. (2020). Towards a morphogenesis of informal settlements. *Habitat International*, 104, 102240. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2020.102240>

Ducrot, R., Bueno, A. K., Barban, V., & Reydon, B. P. (2010). Integrating land tenure, infrastructure and water catchment management in São Paulo's periphery: lessons from a gaming approach. *Environment and Urbanization*, 22(2), 543–560. <https://doi.org/10.1177/0956247810380168>

Egas, F., Nazareno, I., & Cifuentes, L. M. (2021). Afectaciones sobre las propiedades colectivas en las comunas ancestrales de Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales*, XXVII(4), 259–276.

Fernández de Córdoba, M. (2019). La clasificación urbanística del espacio de transición urbano/rural en la legislación del suelo del Ecuador. *Éidos*, 14, 3–19.

- Fernández Labbe, J., & Cevallos, E. (2021). Trajectories and Aspirations of Rural Young People on Territories in Transformation: A case in rural areas in Cayambe, Ecuador. *Ager-Revista de Estudios Sobre Despoblación y Desarrollo Rural*, 32, 157–188.
- Field, C., Barros, V., Stocker, T., & Dahe, Q. (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX_Full_Report-1.pdf
- Goodwin, G. (2016). The Quest to Bring Land under Social and Political Control: Land Reform Struggles of the Past and Present in Ecuador. *Journal of Agrarian Change*, 17(3), 1–23.
- Granados, Y., Strozzi, A., Alvarez, J., Quintana, R., Julian-Santiago, F., Santos, A., Guevara-Pacheco, S., Loyola-Sanchez, A., Goycochea-Robles, V., Juarez, V., Garza-Elizondo, M., Rueda, J., Burgos-Vargas, R., Londoño, J., Pons-Estel, B., & Pelaez-Ballestas, I. (2023). Inequity and vulnerability in Latin American Indigenous and non-indigenous populations with rheumatic diseases: a syndemic approach. *BMJ OPEN*, 13(3).
- Halfacree, K. (1995). Talking about rurality: social representations of the rural as expressed by residents of six English parishes. *Journal of Rural Studies*, 11(1), 1–20.
- Hauenstein, E., Petterson, S., Merwin, E., Rovnyak, V., Heise, B., & Wagner, D. (2006). Rurality, gender, and mental health treatment. *Family & Community Health*, 29(3), 169–185.
- Herrero-Olarte, S., & Baena, J. J. (2022). The Limits to Access to Higher Education in the Andean Community: beyond the Economic Issue. *Revista Internacional de Educación Para La Justicia Social*, 11(1), 215–233.
- Husa, A., & Morse, C. E. (2022). RURALITY AS A KEY FACTOR FOR PLACE ATTACHMENT IN THE GREAT PLAINS. *Geographical Review*, 112(1), 27–45. <https://doi.org/10.1080/00167428.2020.1786384>
- INEC. (2011). *Fascículo Provincial Chimborazo*.
- INEC. (2022). *Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENEMDU) Junio 2022*.
- Jacquet, J., Guthrie, E., & Jackson, H. (2016). Swept Out: Measuring Rurality and Migration Intentions on the Upper Great Planis. *Rural Sociology*, 82(4), 601–627.
- Lefebvre, henri. (2016). *El Derecho a la Ciudad* (1st ed., Vol. 1). Capitán Swing Libros.
- Levy, A. (1999). Urban morphology and the problem of the modern urban fabric: some questions for research. *Urban Morphology*, 3(2), 79–85.
- Lobos, G., Schnettler, B., Lapo, C., Mera, W., & Bustamante, M. (2019). Perceived Resources and Satisfaction With Food-Related Life Among Ecuadorian Elderly. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 51(6), 693–702.
- Méndez, Y., & Vieyra, A. (2014). Tracing Processes in Poverty Dynamics: A Tale of Peri-urban Small-scale farmers in Mexico City. *Urban Studies*, 51(10), 2009–2035.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). *Informe Nacional del Ecuador*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2022/03/Informe-Nacional-del-Ecuador.pdf>
- Narchi, N. E., & Cristiani, B. C. (2015). Subtle Tyranny. *Latin American Perspectives*, 42(5), 90–108. <https://doi.org/10.1177/0094582X15585118>
- Ortiz-Báez, P., Cabrera-Barona, P., & Bogaert, J. (2021). Characterizing landscape patterns in urban-rural interfaces. *Journal of Urban Management*, 10(1), 46–56.

Palacios, E., López, D., & Delgado, D. (2022). Spatial Life narratives in the Covid-19 Context: reflections from the Ecuadorian rurality. *Journal of Latin American Geography*, 21(2), 34–56.

Pauta-Calle, F. (2019). son técnicamente viables los planes de uso y gestión de suelo previstos por la Ley ecuatoriana de ordenamiento territorial? *Eídos*, 13, 39–54.

Porreca, R., Geropanta, V., Barberá, R. M., & Rocchio, D. (2020). Remote Sensing Drones for Advanced Urban Regeneration Strategies. The Case of San José de Chamanga in Ecuador. In P. Vasant, I. Zelinka, & G.-W. Weber (Eds.), *Intelligent Computing and Optimization* (pp. 620–628). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33585-4_60

Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo, Pub. L. No. 790, Asamblea Nacional 1 (2016).

Rayner, J. (2019). la (re) construcción de la comuna en el Estado plurinacional. In J. Rayner & J. Mérida (Eds.), *Las Comunas del Ecuador: autonomía, territorio y la construcción del Estado plurinacional* (1st ed., Vol. 1, pp. 37–70). Instituto de Altos Estudios Nacionales (IAEN).

Rocchio, D., & Domingo-Calabuig, D. (2023). The pre-design phase in the post-catastrophe intervention process. The case of Chamanga, Ecuador. *Bitácora Urbano Territorial*, 33(3), Article 3. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v33n3.109378>

Rocchio, D., & Moya Barberá, R. (2017). Del objeto al proceso: El paisaje de la reconstrucción post-catástrofe. *Eídos*, 10, Article 10. <https://doi.org/10.29019/ei.v0i10.342>

Romero-Subia, F., Jimber-del Río, J., Ochoa-Rico, M., & Vergara-Romero, A. (2022). Analysis of Citizen Satisfaction in Municipal Services. *Economies*, 10(9), 225.

Sanchez, L., Cotazar, S. M., & Barragán, M. (2018). Considerations on rurality, family farming and food security in Ecuador. *Dilemas Contemporáneos Educación Política y Valores*, 5(2).

Saxena, G. (2018). Rurality in Flux: A Perspective on Rural Tourism Enterprise. In Y. Dwivedi, N. Rana, E. Slade, M. Shareef, M. Clemente, A. Simintiras, & B. Lal (Eds.), *Emerging Markets from a multidisciplinary Perspective: Challenges, Opportunity Research Agenda* (1st ed., Vol. 1, pp. 273–284). Springer International Publishing AG.

Seawnght, J., & Gerring, J. (2008). Case selection techniques in case study research: A menu of qualitative and quantitative options. *Political Research Quarterly*, 61(2), 294–308. <https://doi.org/10.1177/1065912907313077>

Soto, G., & Alfie, M. (2019). Impact of Climate Change in Mexican peri-urban areas with risk of drought. *Journal of Arid Environments*, 162, 74–88.

Ulloa-Espindola, R., Cuyo-Cuyo, J., & Lalama-Noboa, E. (2023). Towards Rural Resilience: Assessing Future Spatial urban Expansion and Population Growth in Quito as a Measure of Resilience. *LAND*, 12(2), 335.

Van Eupen, M., Metzger, M. J., Pérez-Soba, M., Verburg, P. H., Van Doorn, A., & Bunce, R. G. H. (2012). A rural typology for strategic European Policies. *Land Use Policy*, 29(3), 473–482.

Varghese, C., Lengyel, O., McGuineess, M., & Harmston, C. (2021). Impact of rurality and ethnicity on complexity of acute diverticulitis in Northland, New Zealand. *ANZ Journal of Surgery*, 91(12), 2701–2706.

Wolfe, A. W., Black, L. W., & Welser, H. T. (2020). Sense of Community and Migration Intentions among Rural Young Professionals. *Rural Sociology*, 85(1), 235–257. <https://doi.org/10.1111/ruso.12289>

Impact of Economic, Social, And Environmental Factors on Electric Vehicle Adoption: A Review

Impacto de los factores económicos, sociales y ambientales en la adopción de vehículos eléctricos: una revisión

EÍDOS N°24
Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo
ISSN: 1390-5007
revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos

^{1,2}Mohammad Farajnezhad, ³Jason See Toh Seong Kuan, ⁴Hesam Kamyab

¹Faculty of Business and Communication, Inti International University, 71800 Nilai, N. Sembilan, Malaysia;

²CSIRT Center, Computer Engineering Department, Lorestan University, Iran. taban1010@gmail.com.
ORCID: 0000-0002-2086-9294

³Faculty of Business and Communication, Inti International University, 71800 Nilai, N. Sembilan, Malaysia.
jasonsee.toh@newinti.edu.my. ORCID: 0000-0002-1309-5200

⁴Faculty of Chemical and Energy Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 81310, Skudai, Johor, Malaysia.
hesam_kamyab@yahoo.com. ORCID: 0000-0002-5272-2297

Abstract:

Electric vehicles (EVs) represent a transformative innovation in the automotive industry, offering a promising solution to environmental challenges. This paper examines the complex interplay of economic, social, and environmental factors that influence consumers' decisions to adopt EVs. Economic factors, such as initial purchase price and operating costs, play a crucial role in adoption. Research suggests that as EV prices become more competitive and operational expenses decline, adoption rates will accelerate. Social factors, including peer influence and perceptions of EV performance, reliability, and convenience, also shape consumer attitudes and preferences. Environmental considerations, including the imperative to mitigate

greenhouse gas emissions and reduce air pollution, drive the adoption of EVs. This review synthesizes existing literature on the impact of economic, social, and environmental factors on EV adoption, providing valuable insights for policymakers, industry stakeholders, and researchers. By elucidating the complex dynamics that influence consumer behavior, this study contributes to the ongoing discourse on sustainable mobility and the transition towards a greener transportation ecosystem.

Keywords: *Electric vehicles, transport sector, sustainability, adoption, economic, social, environmental, Malaysia.*

Resumen:

Los vehículos eléctricos (EV) representan una innovación transformadora en la industria automotriz y ofrecen una solución prometedora a los desafíos ambientales. Este artículo examina la compleja interacción de factores económicos, sociales y ambientales, que influyen en las decisiones de los consumidores para adoptar vehículos eléctricos. Los factores económicos, como el precio de compra inicial y los costos operativos, juegan un papel crucial en la adopción. Las investigaciones sugieren que, a medida que los precios

de los vehículos eléctricos se vuelvan más competitivos y los gastos operativos disminuyan, las tasas de adopción se acelerarán. Los factores sociales, incluida la influencia de los pares y las percepciones sobre el rendimiento, la confiabilidad y la conveniencia de los vehículos eléctricos, también moldean las actitudes y preferencias de los consumidores. Las consideraciones ambientales, incluido el imperativo de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y reducir la contaminación del aire, impulsan la adopción de

vehículos eléctricos. Esta revisión sintetiza la literatura existente sobre el impacto de los factores económicos, sociales y ambientales en la adopción de vehículos eléctricos, proporcionando información valiosa para los formuladores de políticas, las partes interesadas de la industria y los investigadores. Al dilucidar las complejas dinámicas que influyen en el comportamiento

del consumidor, este estudio contribuye al discurso actual sobre la movilidad sostenible y la transición hacia un ecosistema de transporte más ecológico.

Palabras claves: Vehículos eléctricos, sector transporte, sostenibilidad, adopción, económico, social, ambiental, Malasia.

ABBREVIATIONS

Electric vehicles	EVs
Zero Emission Vehicle	ZEV
Traditional internal combustion engine vehicles	ICEVs
Nitrogen Oxides	NOx
Particulate Matter	PM
Carbon Monoxide	CO
Volatile Organic Compounds	VOCs
Internal combustion engine vehicles	ICEVs
Plug-in hybrid Electric vehicles	PHEV
European Union	EU

1. INTRODUCTION

1.1 Background and Importance of Electric Vehicles (EVs)

Electric vehicles (EVs) represent a significant advancement in automotive technology, offering numerous benefits over traditional internal combustion engine vehicles. The background of EVs traces back to the early 19th century when electric-powered vehicles emerged as viable alternatives to steam and gasoline-powered cars. However, it was not until recent decades that EVs gained traction as a practical and sustainable solution to transportation challenges. The importance of EVs lies in their potential to address pressing issues such as climate change, air pollution, and energy security. As concerns about greenhouse gas emissions and their impact on global warming continue to escalate, EVs present a promising avenue for reducing carbon emissions from the transportation sector. By replacing conventional fossil fuel-powered vehicles with electric counterparts, EVs contribute

to mitigating climate change by reducing reliance on fossil fuels and lowering carbon dioxide emissions. Furthermore, EVs offer significant improvements in air quality, particularly in urban areas where air pollution from vehicles is a major concern. Unlike internal combustion engine vehicles, which emit pollutants such as nitrogen oxides and particulate matter, EVs produce zero tailpipe emissions, thus helping to improve air quality and public health.

Additionally, the adoption of EVs promotes energy security by reducing dependence on imported oil and diversifying the sources of energy used for transportation. With advancements in renewable energy technologies such as solar and wind power, EVs have the potential to be powered by clean and domestically produced electricity, further enhancing energy independence and resilience. Moreover, the proliferation of EVs presents economic opportunities for industries involved in their production, distribution, and maintenance. As demand for EVs grows, it stimulates innovation and

investment in battery technology, charging infrastructure, and related industries, leading to job creation and economic growth. The background and importance of EVs underscore their role as a transformative technology with the potential to address environmental, health, energy, and economic challenges. By transitioning to electric transportation, societies can move towards a more sustainable and resilient future.

1.2 Overview of the Environmental, Social, and Economic Impacts of EV Adoption

The adoption of electric vehicles (EVs) has multifaceted impacts on the environment, society, and economy, influencing various aspects of human life and global sustainability. An overview of these impacts can be elucidated as follows:

- **Environmental Impacts:** EV adoption contributes to mitigating environmental degradation by reducing greenhouse gas emissions and air pollutants. Studies have shown that EVs produce lower emissions compared to internal combustion engine vehicles, particularly when powered by renewable energy sources (Zhang et al., 2019). This leads to improvements in air quality, public health, and ecosystem integrity, supporting global efforts to combat climate change and environmental degradation (Han et al., 2020).
- **Social Impacts:** The widespread adoption of EVs can bring about social transformations by influencing mobility patterns, urban planning, and social equity. EVs offer quieter and cleaner transportation options, enhancing the quality of life for residents in urban areas and reducing noise pollution (Zheng et al., 2021). Moreover, EV adoption promotes social inclusion by providing accessible and affordable transportation solutions, particularly for underserved communities (He et al., 2021).

- **Economic Impacts:** The transition to EVs has significant economic implications, affecting industries, markets, and employment opportunities. The EV market stimulates technological innovation, driving advancements in battery technology, electric drivetrains, and charging infrastructure (Li et al., 2021). This fosters economic growth, job creation, and investment opportunities in the renewable energy and automotive sectors (Wang et al., 2020). Additionally, EV adoption reduces reliance on imported oil and enhances energy security, leading to cost savings and economic resilience (Wu et al., 2021).

In summary, the adoption of EVs has profound environmental, social, and economic impacts, shaping the trajectory of sustainable development worldwide. Understanding these impacts is essential for policymakers, businesses, and individuals to make informed decisions and promote the widespread adoption of EVs for a cleaner, healthier, and more prosperous future.

2. LITERATURE REVIEW

2.1 Historical Development of Electric Vehicles

The concept of electric vehicles (EVs) dates to the early 19th century, with significant advancements occurring over the decades. This historical development highlights the evolution of EV technology and its integration into modern transportation systems. The first electric vehicle prototype was developed by Scottish inventor Robert Anderson in the 1830s, consisting of a crude electric carriage powered by non-rechargeable batteries (Notten et al., 2017). Subsequent innovations by Thomas Davenport and others in the mid-19th century led to the introduction of electric trams and trolleybuses in urban areas (Laugwitz, 2017). The early 20th century witnessed significant advancements in EV technology, spurred by concerns over air pollu-

tion and dependence on fossil fuels. The Detroit Electric Company, founded in 1907, became one of the leading manufacturers of electric cars, offering a range of models popular among urban dwellers (Gross, 2018). However, the emergence of affordable gasoline-powered vehicles, coupled with advancements in internal combustion engine technology, led to a decline in EV popularity by the 1930s. Interest in EVs resurged in the late 20th century amid growing concerns over environmental pollution and oil dependency. The California Air Resources Board's Zero Emission Vehicle (ZEV) mandate in the 1990s incentivized automakers to produce electric and hybrid vehicles, leading to the introduction of models such as the General Motors EV1 and Toyota Prius (Sperling & Gordon, 2009). Despite initial enthusiasm, limited battery range and high costs hindered widespread EV adoption during this period. The 21st century has witnessed a rapid acceleration in EV development and adoption, driven by advancements in battery technology, government incentives, and increasing environmental awareness. Companies like Tesla Motors have pioneered the mass production of long-range, high-performance electric vehicles, while governments worldwide have implemented policies to promote EV adoption and

expand charging infrastructure (Faria et al., 2019). Additionally, the emergence of electric buses, trucks, and motorcycles further underscores the diversity and potential of EV technology in various transportation sectors. The historical development of electric vehicles reflects a trajectory marked by innovation, challenges, and opportunities. As technology continues to evolve and sustainability concerns intensify, EVs are poised to play a central role in shaping the future of transportation.

According to the International Energy Agency (2021), global energy use will continue to grow in all major end-use sectors. The total final consumption (TFC) will increase by around 20% in 2020–50. The demand for fossil fuels will decrease, and the shift will be toward electricity, renewable power, and hydrogen. In 2050, electricity's share will rise from 20 to 30% (Fig. 1). Transport accounts for the largest reduction in energy demand, thanks to a shift toward electric vehicles (EV), which are up to three times more energy-efficient than conventional internal combustion engines. According to International Energy Agency (2021), over 60% of the clean energy technology equipment market predicted will be battery-based in 2050. With over 3 billion electric vehicles on the road

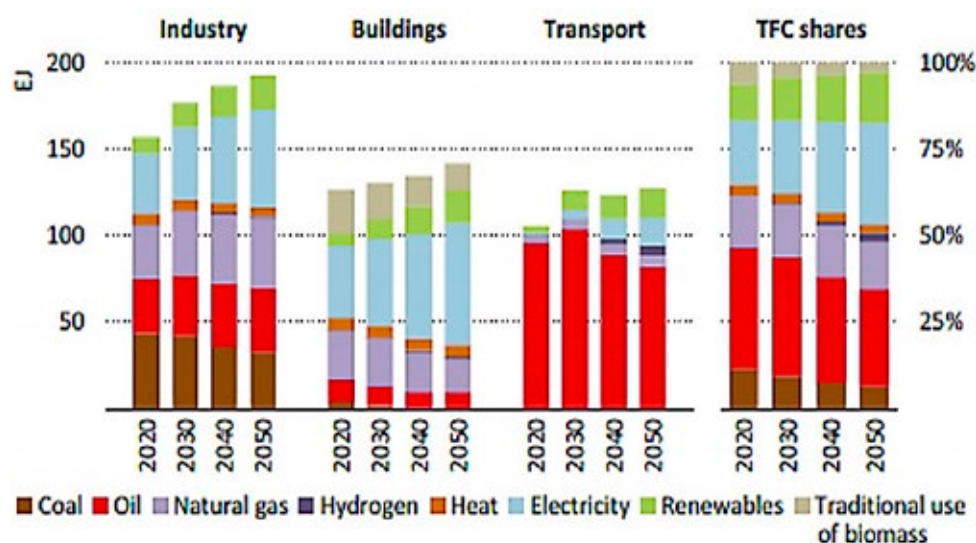


Figure 1. Final energy consumption by source and sector in the Net Zero Emission by 2050 Scenario. Source: International Energy Agency (2021).

and three terawatt-hours of battery storage in 2050, batteries will play a key role in the new energy economy.

2.2 Environmental Impacts of Traditional Internal Combustion Engine Vehicles

Traditional internal combustion engine vehicles (ICEVs) have significant environmental impacts across their lifecycle, including production, operation, and disposal. These impacts contribute to various environmental issues, including air pollution, greenhouse gas emissions, and resource depletion.

ICEVs emit pollutants such as nitrogen oxides (NO_x), particulate matter (PM), carbon monoxide (CO), and volatile organic compounds (VOCs) during operation (Stocker & Schraner, 2018). These pollutants degrade air quality, leading to health problems such as respiratory diseases, cardiovascular issues, and premature mortality (Hoek et al., 2013). Additionally, NO_x and VOCs contribute to the formation of ground-level ozone and smog, further exacerbating air pollution in urban areas (Cohen et al., 2017). ICEVs are a significant source of greenhouse gas emissions, primarily carbon dioxide (CO₂), resulting from the combustion of fossil fuels (Schiermeier, 2020). These emissions contribute to global warming and climate change by trapping heat in the atmosphere, leading to adverse effects such as rising temperatures, sea-level rise, and extreme weather events (IPCC, 2018). The transportation sector is one of the largest contributors to global CO₂ emissions, with ICEVs playing a major role in this regard (Le Quéré et al., 2018).

The production and operation of ICEVs require significant amounts of natural resources, including petroleum, metals, and water (Sullivan & Locey, 2016). The extraction and processing of these resources can have adverse environmental impacts, such as habitat destruction, water pollution, and biodiversity loss (Mudd, 2010). Additionally, the reliance on finite fossil fuel reserves raises concerns about energy security and resource depletion, necessitating a tran-

sition to alternative fuels and propulsion technologies (IEA, 2019). ICEVs produce noise pollution due to engine combustion, exhaust systems, and tire-road interaction (Basner et al., 2014). This noise can disrupt ecosystems, interfere with wildlife communication and navigation, and adversely affect human health and well-being, leading to stress, sleep disturbances, and hearing loss (Münzel et al., 2018).

The environmental impacts of traditional ICEVs are significant and multifaceted, posing challenges to sustainability and public health. Addressing these impacts requires a transition to cleaner and more efficient transportation alternatives, such as electric vehicles (EVs), and the implementation of policies to promote sustainable mobility and reduce emissions.

2.3 Advantages and Disadvantages of EVs Compared to Conventional Vehicles

Electric vehicles (EVs) offer several advantages over conventional internal combustion engine vehicles (ICEVs), but they also have certain limitations. Understanding these pros and cons is crucial for assessing the overall impact of EV adoption on the automotive industry and the environment. EVs produce zero tailpipe emissions during operation, reducing air pollution and greenhouse gas emissions (Nikolaou et al., 2019). This helps mitigate climate change and improves local air quality, particularly in urban areas (Jacobson, 2009). Additionally, EVs can be powered by renewable energy sources, further reducing their carbon footprint (Abdelaziz et al., 2019). EVs have lower fuel and maintenance costs compared to ICEVs. Electricity is generally cheaper than gasoline, resulting in lower fuel expenses over the vehicle's lifetime (Peters et al., 2017). Moreover, EVs have fewer moving parts and require less maintenance, leading to reduced servicing and repair costs (Axsen et al., 2018). EVs are more energy efficient than ICEVs due to the higher efficiency of electric motors compared to internal combustion engines (Gallagher et al., 2012). This translates to greater energy

savings and reduced resource consumption, contributing to sustainability and energy security (Miotti et al., 2016). EVs offer smooth, quiet, and responsive driving experiences due to their electric powertrains (Rugh & Kuffner, 2013). They provide instant torque and acceleration, making them enjoyable to drive and suitable for urban commuting (Sierzchula et al., 2014).

Most EVs have shorter driving ranges compared to conventional ICEVs, which can be a barrier to long-distance travel (Shao et al., 2017). Range anxiety, or the fear of running out of charge, remains a concern for some consumers, especially in regions with inadequate charging infrastructure (Shaheen et al., 2017). The availability and accessibility of charging infrastructure remain major challenges for EV adoption (Caperello et al., 2018). Public charging stations are less common than gas stations, and charging times can be longer, hindering the convenience of EV ownership (Stephens et al., 2019). EV batteries are expensive to manufacture and replace, contributing to the upfront cost of EVs (Zhao et al., 2017). Moreover, battery degradation over time can affect vehicle performance and range, necessitating costly replacements (Wu et al., 2020). The production of EV batteries requires rare earth metals and other critical materials, leading to concerns about resource depletion and environmental impacts associated with mining and processing (Oladele et al., 2019). Additionally, the disposal and recycling of spent EV batteries pose challenges for waste management and environmental sustainability (Kim et al., 2016). While EVs offer numerous advantages in terms of environmental performance, operating costs, and driving experience, they also face challenges related to driving range, charging infrastructure, battery costs, and resource constraints. Addressing these limitations will be essential for accelerating the transition to electric mobility and realizing the full potential of EVs in the transportation sector. Figure 2 displays the impact of economic, social, and environmental aspects on electric vehicle adoption.

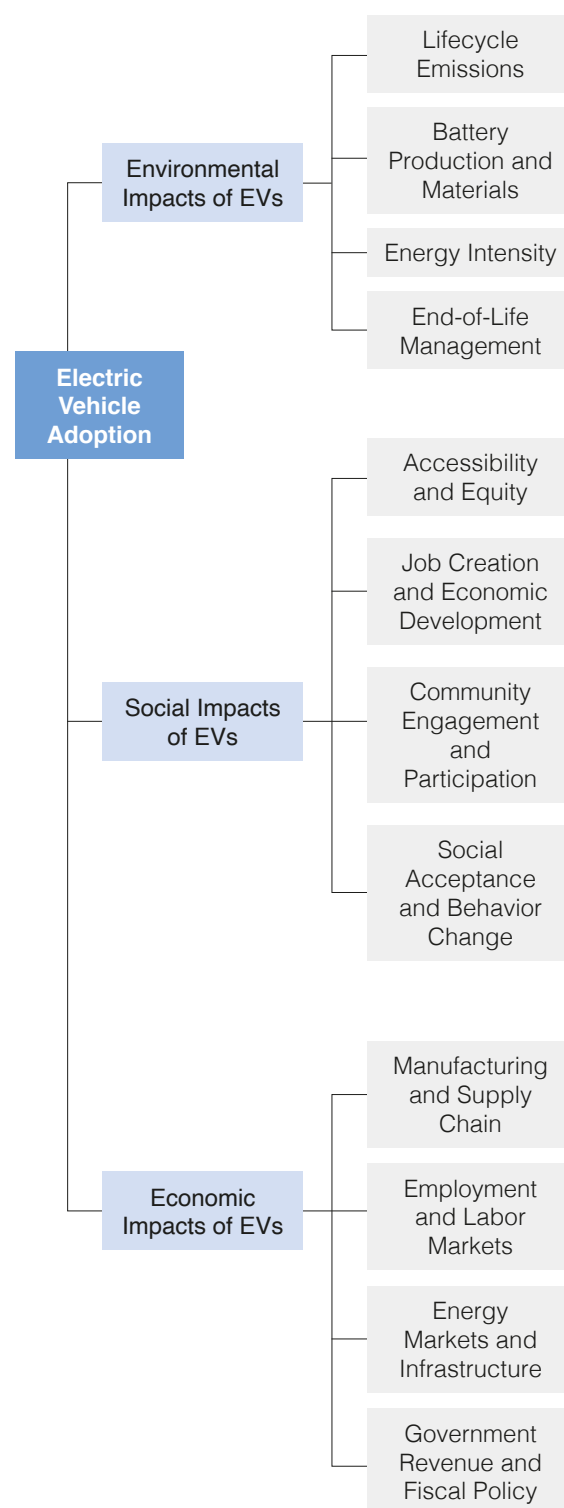


Figure 2. Chart of Impact of economic, social, and environmental factors on electric vehicle adoption

2.4 Environmental Impacts of EVs

Electric vehicles (EVs) are often hailed as a more environmentally friendly alternative to conventional internal combustion engine vehicles (ICEVs) due to their zero tailpipe

emissions. However, the environmental impacts of EVs extend beyond direct emissions during operation and include various aspects of their lifecycle, from manufacturing to end-of-life disposal. This section provides an overview of the environmental impacts associated with EVs, drawing on recent research and literature.

2.4.1 Lifecycle Emissions: While EVs produce no tailpipe emissions during operation, the environmental impact of EVs depends on the source of electricity used for charging. EVs charged using electricity generated from renewable sources have significantly lower lifecycle emissions compared to those charged using fossil fuels (Hawkins et al., 2013). However, the production of electricity itself, along with battery manufacturing and materials extraction, contributes to greenhouse gas emissions and other environmental pollutants.

2.4.2 Battery Production and Materials: The manufacturing of EV batteries involves resource-intensive processes and materials, including lithium, cobalt, and nickel, which are often mined through environmentally damaging practices (Dunn et al., 2014). The extraction, processing, and transportation of these raw materials can result in habitat destruction, water pollution, and ecosystem degradation, particularly in regions with lax environmental regulations.

2.4.3 Energy Intensity: EVs typically require more energy to produce than ICEVs due to the complex manufacturing processes and the production of high-capacity lithium-ion batteries (Kang et al., 2016). Studies have shown that the energy intensity of EV production can result in higher environmental burdens, including greenhouse gas emissions, compared to conventional vehicles over their lifecycle (Ellingsen et al., 2014).

2.4.4 End-of-Life Management: The disposal and recycling of EV batteries present significant environmental challenges, including the potential for toxic leachates and heavy metal contamination (Dunn et al., 2016). Proper end-of-life management practices, such as battery recycling and reuse, are essential to mitigate environmental impacts and minimize resource depletion. While EVs offer the potential to reduce greenhouse gas emissions and air pollution, their environmental benefits are contingent upon various factors, including the source of electricity, battery manufacturing practices, and end-of-life management strategies. Addressing these challenges through sustainable energy generation, responsible resource extraction, and effective recycling programs is crucial to maximizing the environmental benefits of EV adoption.

2.4.5 Mitigating Greenhouse Gas Emissions: The transition to electric vehicles (EVs) is crucial for mitigating greenhouse gas emissions and reducing the environmental impact of transportation. According to the International Energy Agency (IEA, 2020), EVs have the potential to reduce CO₂ emissions from the transportation sector by up to 70% by 2050. EVs produce zero tailpipe emissions, reducing the amount of particulate matter, nitrogen oxides, and other pollutants released into the atmosphere. This is particularly significant in urban areas, where air pollution is a major public health concern. The production of EVs also has a lower environmental impact compared to traditional internal combustion engine vehicles. A study by the Union of Concerned Scientists (UCS, 2020) found that the production of EVs generates approximately 60% fewer emissions than traditional vehicles. Additionally, the recycling of EV batteries has

the potential to reduce the environmental impact of the entire lifecycle of the vehicle.

2.4.6 Reducing Air Pollution: Air pollution is a significant public health concern, with the World Health Organization (WHO) estimating that 9 out of 10 people worldwide breathe polluted air. Electric vehicles (EVs) play a crucial role in reducing air pollution, as they produce zero tailpipe emissions. According to the International Council on Clean Transportation (ICCT, 2020), EVs can reduce particulate matter (PM), nitrogen oxides (NOx), and other pollutants by up to 90% compared to traditional internal combustion engine vehicles. The benefits of EVs in reducing air pollution are particularly significant in urban areas, where air pollution is often most severe. A study by the University of California, Berkeley (UC Berkeley, 2020) found that widespread adoption of EVs in California could reduce PM2.5 emissions by up to 70%, resulting in significant health benefits and cost savings. Furthermore, EVs can also reduce emissions from the production and distribution of fossil fuels. A study by the National Renewable Energy Laboratory (NREL, 2020) found that EVs can reduce greenhouse gas emissions from the production and distribution of fuels by up to 50%.

2.4.7 Conserving Natural Resources: The production and use of electric vehicles (EVs) offer significant opportunities for conserving natural resources. The extraction, refining, and transportation of fossil fuels for traditional internal combustion engine vehicles have a significant environmental impact. In contrast, EVs can reduce the demand for fossil fuels, conserving natural resources and reducing the environmental impact of extraction and transpor-

tation. The production of EVs also has a lower environmental impact compared to traditional vehicles. A study by the Union of Concerned Scientists (UCS, 2020) found that the production of EVs generates approximately 60% fewer emissions than traditional vehicles. Additionally, the recycling of EV batteries has the potential to reduce the environmental impact of the entire lifecycle of the vehicle. Furthermore, EVs can also reduce the demand for natural resources such as water and land. A study by the National Renewable Energy Laboratory (NREL, 2020) found that EVs can reduce the demand for water by up to 70% compared to traditional vehicles. Additionally, the production of EVs requires significantly less land than traditional vehicles, reducing the impact on ecosystems and biodiversity. In conclusion, the transition to electric vehicles offers significant opportunities for conserving natural resources, reducing the environmental impact of extraction and transportation, and promoting sustainable development.

2.5 Social Impacts of EVs

The adoption of electric vehicles (EVs) not only brings about environmental benefits but also significant social impacts that extend to various aspects of society. This section explores the social implications of EVs, drawing on recent studies and literature.

2.5.1 Accessibility and Equity: EVs have the potential to democratize transportation by providing cleaner and more sustainable mobility options for a broader segment of the population. Compared to traditional gasoline-powered vehicles, EVs offer lower operating costs and reduced maintenance requirements, making them more accessible to individuals with limited financial resources (Hardman et al., 2019). Additionally,

government incentives and subsidy programs aimed at promoting EV adoption can help address equity concerns by ensuring that disadvantaged communities have access to cleaner transportation options (Stephenson et al., 2020).

2.5.2 Job Creation and Economic Development:

The growing EV industry contributes to job creation and economic development in regions involved in EV manufacturing, research, and infrastructure development. Studies have shown that investments in EV production and related supply chains can stimulate local economies, create new employment opportunities, and support the growth of high-tech industries (Mallapragada et al., 2021). Moreover, the transition to electric mobility fosters innovation and entrepreneurship in areas such as battery technology, charging infrastructure, and smart mobility solutions, driving economic growth and competitiveness (Zietsman et al., 2017).

2.5.3 Community Engagement and Participation:

EV adoption often fosters community engagement and participation through initiatives such as EV clubs, advocacy groups, and public awareness campaigns. These grassroots efforts play a crucial role in promoting EV awareness, addressing consumer concerns, and advocating for supportive policies and regulations (Kahn et al., 2015). Moreover, community-based EV charging programs and collaborative initiatives between local governments, businesses, and nonprofit organizations help expand EV infrastructure and promote sustainable transportation options at the grassroots level (Krause et al., 2018).

2.5.4 Social Acceptance and Behavior Change:

The widespread adoption of EVs is reshaping societal atti-

tudes towards transportation and fostering a shift towards sustainable mobility. As EVs become more commonplace, societal norms surrounding vehicle ownership, driving habits, and environmental consciousness are evolving (Axsen et al., 2019). Studies have shown that positive experiences with EVs, coupled with effective marketing and public education campaigns, can increase social acceptance, and accelerate the transition to electric mobility (Axsen et al., 2017). The social impacts of electric vehicles extend beyond individual transportation choices to encompass broader issues of accessibility, equity, economic development, community engagement, and societal behavior change. By addressing these social dimensions, policymakers, industry stakeholders, and community leaders can maximize the societal benefits of EV adoption and promote a more sustainable and inclusive transportation system.

2.6 Economic Impacts of EVs

The transition to electric vehicles (EVs) is reshaping the automotive industry and has profound economic implications at various levels. This section examines the economic impacts of EVs, drawing on recent studies and literature.

2.6.1 Manufacturing and Supply Chain:

The shift towards EV production has led to significant investments in manufacturing facilities and supply chain development. As automakers ramp up EV production, there is a growing demand for batteries, electric drivetrains, and other EV components (Schäfer et al., 2018). This has prompted the establishment of new manufacturing plants and the expansion of existing ones, creating jobs and economic opportunities in regions with a strong EV manufacturing presence (Hardman et al.,

2019). Additionally, the localization of EV production and supply chains can enhance industrial competitiveness and resilience, reducing reliance on imported components and mitigating supply chain risks (Nealer et al., 2020).

2.6.2 Employment and Labor Markets:

The growth of the EV industry has positive implications for employment and labor markets. Studies indicate that investments in EV manufacturing and related sectors generate job opportunities across the entire value chain, from research and development to production, sales, and aftermarket services (Deloitte, 2020). Moreover, the transition to electric mobility requires a skilled workforce in areas such as battery technology, electric vehicle design, and software engineering, driving demand for specialized talent and fostering innovation (Hardman et al., 2019). However, the economic impact on traditional automotive industries and associated sectors may vary, potentially leading to job displacement and workforce transitions (Stephenson et al., 2020).

2.6.3 Energy Markets and Infrastructure:

The widespread adoption of EVs has implications for energy markets and infrastructure investment. EVs increase electricity demand, particularly during peak charging periods, which can strain existing grid infrastructure and necessitate upgrades to accommodate higher loads (Axsen et al., 2019). However, advancements in smart charging technologies, grid integration strategies, and renewable energy deployment can mitigate the impact of EVs on grid stability and enhance energy efficiency (Hardman et al.,

2019). Moreover, investments in EV charging infrastructure, including public charging stations, fast chargers, and smart grid solutions, present economic opportunities for utilities, technology providers, and infrastructure developers (Nealer et al., 2020).

2.6.4 Government Revenue and Fiscal Policy:

The adoption of EVs has implications for government revenue and fiscal policy, particularly regarding fuel tax revenue and incentives for EV adoption. As EVs replace gasoline and diesel vehicles, traditional sources of revenue derived from fuel taxes may decline, posing challenges for transportation funding and infrastructure maintenance (Deloitte, 2020). To address this, policymakers may consider implementing alternative funding mechanisms, such as road usage charges or mileage-based fees, to ensure sustainable financing for transportation infrastructure (Schäfer et al., 2018). Additionally, government incentives and subsidies for EV adoption, such as purchase rebates, tax credits, and reduced registration fees, influence consumer behavior and market dynamics, shaping the economic viability of EVs (Stephenson et al., 2020). The economic impacts of electric vehicles extend beyond the automotive sector to encompass broader aspects of manufacturing, employment, energy markets, and fiscal policy. By understanding and addressing these economic dimensions, policymakers, industry stakeholders, and communities can navigate the transition to electric mobility and capitalize on the economic opportunities presented by EV adoption.

2.7 Investments in EV Infrastructure and its Economic Implications

Investments in Electric Vehicle (EV) infrastructure carry profound economic implications, shaping various sectors and influencing economic growth. Investments in EV infrastructure, including charging stations, battery manufacturing facilities, and grid enhancements, create employment opportunities across multiple industries (IRENA, 2019). Job creation occurs in construction, engineering, manufacturing, maintenance, and operations of EV infrastructure, contributing to local economies and supporting skilled and unskilled labor (EY, 2020). EV infrastructure investments stimulate economic activity by attracting both public and private investments, fostering innovation, and supporting the growth of associated industries (Deloitte, 2020).

The establishment of charging networks and related services generates economic growth by driving consumer spending and fostering business development (IEA, 2021). Investments in EV infrastructure facilitates the expansion of the EV industry by addressing concerns like range anxiety, enhancing charging accessibility, and promoting EV adoption (EY, 2020). Supportive policies and incentives, such as subsidies and tax credits, encourage investments in charging infrastructure, accelerating the adoption of EVs, and fostering industry growth (IRENA, 2019). EV infrastructure investments drive technological innovation and research in areas such as battery technology, smart grid integration, and energy storage solutions (IEA, 2021). Research and development initiatives supported by infrastructure investments lead to advancements in EV charging technologies, grid management systems, and renewable energy integration, enhancing economic competitiveness (Deloitte, 2020).

Investments in EV infrastructure creates revenue streams through charging fees, electricity sales, and value-added services, unlocking new business opportunities and revenue sources (EY, 2020). Charging

networks offer potential returns on investment through user fees, subscription models, and partnerships with utilities and service providers, contributing to economic viability (IRENA, 2019). Investments in EV infrastructure has significant economic implications, driving job creation, stimulating economic growth, fostering industry expansion, promoting technological innovation, and generating revenue opportunities. As governments and businesses prioritize sustainable transportation, strategic investments in EV infrastructure are pivotal for shaping future economies.

Different countries around the world have concentrated on the improvement of domestic strategies associated with the issue of energy to achieve higher sustainability in its consumption as well as production procedures (Mukherjee and Ryan, 2020). The transport sector is an integrated part of the current societies and contributes considerably to global economic development (Li et al., 2017). Studies show the recent contribution of the transport system in more than 55% of the oil consumption and approximately 25% of CO₂ emissions (Adnan et al., 2016). The significant growth in owning and using personal cars can be mentioned as an important factor leading to environmental pollution (Hao et al., 2016). The transport sector emits one-fourth of the overall greenhouse gases around the world, which is predicted to increase from 23 to 50 percent by 2030 (IEA, (2019)). Different governments have currently focused on the promotion of environmental friendly EVs instead of internal combustion engine vehicles (ICEVs) to deal with the problem of greenhouse gases as well as dangerous fine particles (Chu et al., 2019). Thus, electric vehicles consisting of battery EVs (BEVs), plug-in hybrid EVs (PHEVs), and hybrid EVs (HEVs) are considered as a suitable solution to the problem of greenhouse gases emissions and other problems associated with the transport system. Furthermore, substantial reduction of air pollution caused by transportation is an advantage of EVs, besides the decrease in greenhouse gases emissions and related to cli-

mate change and decrease in consuming fossil fuels (Egbue et al., 2017). Accordingly, developing EVs can be an integrated part of the global attempts to achieve the goal of net-zero, which is possible, given the significant capability of EVs in the improvement of energy output, reduction of greenhouse gases emissions, and providing diverse energy resources toward transport sustainability (Zhang et al., 2018).

Electric vehicles can be somehow regarded as green products due to their possible advantages for the environment through the adoption of new energies along with enhancement of their output (Wu et al., 2019). Nevertheless, EVs distribution has just started. The technology associated with these vehicles is recently under development on one hand, and they need to obtain more competitiveness against ICEVs from a financial perspective (Mukherjee and Ryan, 2020).

According to study of Zhou et al (2024), the EVs charging load peak overlaps with the conventional load peak. The greater the number of the EVs, the greater the impact on reliability. Therefore, a reasonable regulation of EVs, DG (Distributed generation) and ESS (Energy storage system) is undoubtedly conducive to large-scale EVs connection to the microgrid. Another study by Nasab et al (2024) showed that the technical characteristics of the network have improved in the presence of electric vehicles and distributed production sources. Similarly, the use of distributed generation reduces equipment costs and undistributed energy in the system. However, 10,000 EVs, considered an uncontrolled load, has caused an increase in undistributed energy and the cost of equipment required for network development by approximately 5%.

A study of Hui et al (2024), displayed that EV charging stations autonomously decide their charging and discharging processes, bringing benefits to the park while also reducing its carbon emissions. Furthermore, models based on flexible storage load characteristic brought about by EV exhibit

strong robustness and extendibility, providing surplus energy storage for future planning in parks. Also, the incorporation of models based on flexible storage load characteristic brought about by EV can enhance the flexibility of loads from park users' side, lower their energy costs and provide insights for upper level microgrid operators' pricing strategies.

According to the study of Chen et al (2024), the finding shows that while maintaining a relatively stable system cost, the carbon emissions are reduced by 1.60 t, and the fluctuation of the load curve is reduced by 21.5%. Therefore, the system has achieved low-carbon and stable operation while maintaining economic efficiency. Another study by Ganz et al (2024), the finding shows that the use case of PV self-consumption optimization with an EV makes installing a PV system and the investment in an EV almost always more profitable. Thus, the use case is positive from the user's perspective. Furthermore, the actor-driven use case of PV self-consumption optimization in Germany can have a slightly positive effect on the energy system; thus, a promotion of this use case by the German government can help the energy transition in Germany.

Meanwhile, Pirmana et al (2023), it is evident from the results of Indonesia that batteries and EV production are economically beneficial. The results show that the electric vehicle production increases productivity, gross value-added, and job creation with a relatively small impact on the environment. A study of España et al (2024), By evaluating technical, economic, and environmental aspects with a realistic approach based on simulation results that considered traffic conditions and network operational parameters, helpful benchmarking is obtained to promote EVs among owners of public vehicles in the city and concludes that EV adoption for individual public transportation in Pasto (Colombia) is notably advantageous from a financial perspective. The work of Shang et al (2024), this study, establish a comprehensive life cycle assessment model for vehicles to analyze the gap

in air pollutant and greenhouse gas emissions between electric vehicles and internal combustion engine vehicles (ICEVs) in China. Results reveal that, compared to ICEVs, EVs reduce life cycle emissions of CO₂ by 12%, NO_x by 69%, and VOCs by 9%. Primary constraints on EVs in emission reduction are traced to raw material and component production, notably lithium batteries. By 2025, under the low carbon EVs policy scenario, widespread EV production and sales could cut lifecycle emissions by 3.55 million tons of CO₂, 3,6289 tons of NO_x, and 4315 tons of VOCs. During the driving stage, these indicators contribute 495%, 124%, and 253%, respectively, to total emission reduction throughout the lifecycle.

The research of de Wolf et al (2024), extend a multimodal transport model to simulate an increase of the market share of electric vehicles in the north of France. The study find that the emissions of pollutant gases decrease in comparable proportion to the market share of the electric vehicles. When only users with shorter trips switch to electric vehicles, the impact is limited and demand for charging stations is small since most users will charge by night at home. When the government can target users with longer trips, the impact can be higher by more than a factor of two. But, in this case, our model shows that it is important to increase the number of charging stations with an optimized deployment for their accessibility.

2.8 A Comparative Analysis of Energy Consumption Greenhouse Gas Emissions, and Air Pollution

Electric vehicles offer a higher level of energy efficiency compared to traditional fossil fuel-powered vehicles. Research (Smith et al., 2013; Hawkins et al., 2013) has indicated that EVs convert a greater portion of the energy stored in their batteries into actual propulsion, leading to reduced energy consumption per kilometer traveled. On the other hand, internal combustion engine vehicles face energy losses due to factors

like heat dissipation and mechanical friction. EVs have the potential to significantly decrease GHG emissions in comparison to traditional vehicles. Studies (Hawkins et al., 2013; Zhang et al., 2018) have shown that EVs emit fewer direct emissions during operation as they do not burn fossil fuels. Nevertheless, the total GHG emissions linked to EVs rely on the electricity generation mix in a specific region. In regions with a high share of renewable energy sources like wind or solar, EVs display lower life-cycle emissions than conventional vehicles (Ramirez-Vallejo et al., 2020). EVs play a role in reducing localized air pollution, especially in urban areas. Conventional vehicles release pollutants such as nitrogen oxides (NO_x), particulate matter (PM), and volatile organic compounds (VOCs) during combustion. In contrast, EVs produce no tailpipe emissions, leading to enhanced air quality and public health benefits (Franco et al., 2020). However, it is crucial to consider the upstream emissions related to electricity generation, as certain power sources, such as coal-fired power plants, may still contribute to air pollution (Liu et al., 2020).

2.9 Malaysia Case

Malaysia has experienced a sharp increase in the energy demands of the transport system from 1990 to 2012 when 36.8% of the share of the energy demand was reported as the highest figure compared to all other sectors (Sang and Bekhet, 2015). Nevertheless, in developing nations, including the Malaysian context, governments have taken the benefits of PHEVs into account, taking actions toward the promotion of their adoption (Adnan et al., 2018). Although the large-scale application of EVs is accompanied by different advantages including improvement of air quality, there is still a low rate of EVs adoption in a significant number of countries (Langbroek et al., 2019). This is especially true about the Malaysian context in which overall emissions have exceeded those of Asia and the universal average; unfortunately, the Malaysian population is usually unaware of the effects

of greenhouse gases emissions, and this is obviously observed in the lower rates of EVs adoption (Al Mamun et al., 2019).

Since PHEVs are relatively novel technologies in the Malaysian context, no research studies or analysis have been previously performed on the drivers in Malaysia to evaluate the public acceptance and their consumers' intentions to adopt this new and recently emerging technology (Adnan et al., 2018; Adnan et al., 2016; Sang and Bekhet, 2015). Furthermore, even though different research streams have concentrated on the effects that other alternative vehicles may impose on the environment, there is no sufficient research on the social as well as economic aspects of adopting this novel technology (Onat et al., 2015). Consequently, one of the aims of the present paper is to review of the effects of economic, environmental, and social dimensions on the development of policy procedures that encourage the adoption of alternative vehicles at the national level.

The new environmentally friendly technologies can be eventually successful provided depending on consumers' knowledge, priorities and evaluation (Axsen et al., 2013). The importance of environmental aspects can stimulate the utilization of other vehicles which use alternative fuels (Clinton and Steinberg, 2019). Studies have indicated that environmental protection is usually a critical objective in humans' lives. Furthermore, people consider outcomes associated with the environment when they make selections (Noppers et al., 2014). Meantime, EVs environmental and economic effects are dependent on the fraction of consumers from whose perspective EVs have the desired capabilities, and also on the way these technologies are utilized (Tamor et al., 2013). Electric vehicles or EVs are presented in this study as an instance of novel environmental-friendly technologies (Axsen et al., 2013). Even though considerable research has been carried out on the environmental effects of EVs, no sufficient research can be found on the social as well

as economic aspects of these vehicles. In addition, a considerable proportion of economic analyses have been restricted to analyzing life cycle costs with no consideration of the economic effects. Thus, the present study aims at promoting literature on the adoption of EVs and research on their sustainability which considers both adoption antecedent and adoption consequence factors. It aims to indicate supporting literature including economic and social dimensions may allow for the development of policy procedures which encourage EVs adoption at national level.

3. POLICY AND REGULATORY LANDSCAPE ELECTRIC VEHICLES (EVS)

The policy and regulatory landscape surrounding Electric Vehicles (EVs) is a multifaceted domain influenced by diverse factors such as environmental concerns, technological advancements, economic considerations, and geopolitical dynamics.

Governments worldwide offer various incentives to promote EV adoption, including tax credits, rebates, grants, and subsidies for purchasing EVs (IEA, 2021). Incentives may also extend to EV infrastructure development, such as grants for installing charging stations and funding for research and development (Deloitte, 2020). Stricter emission standards and regulations are being implemented globally to curb greenhouse gas emissions and air pollution, thereby encouraging the transition to zero-emission vehicles like EVs (EPA, 2021). Regulatory measures, such as Zero Emission Vehicle (ZEV) mandates and emissions trading schemes, aim to incentivize automakers to produce EVs and reduce carbon emissions (California Air Resources Board, 2021). Governments and regulatory bodies prioritize the development of EV charging infrastructure to address range anxiety and facilitate widespread adoption (IEA, 2021). Regulations often include mandates for installing charging stations in public areas, commercial buildings, and residential complexes, as well as stan-

dards for interoperability and accessibility (IRENA, 2019).

Policies focus on integrating EV charging infrastructure with the electricity grid to manage peak demand, optimize charging times, and enhance grid stability (IEA, 2021). Regulatory frameworks may promote smart charging solutions, time-of-use pricing, and demand response programs to incentivize off-peak charging and support grid balancing (Deloitte, 2020). Governments allocate funding for research and development initiatives aimed at advancing EV technology, battery efficiency, and charging infrastructure innovation (IRENA, 2019). Regulatory support for public-private partnerships, collaborative research projects, and pilot programs accelerates innovation and commercialization in the EV ecosystem (EY, 2020). Global initiatives and agreements, such as the Paris Agreement and Sustainable Development Goals, foster international cooperation to address climate change and promote sustainable transportation, including EV adoption (UN, 2021). International standards and harmonization efforts ensure consistency in EV regulations, vehicle performance requirements, and charging infrastructure protocols across different regions (IEA, 2021). The policy and regulatory landscape on EVs are characterized by a diverse range of measures aimed at promoting EV adoption, addressing infrastructure needs, and mitigating environmental impacts.

4. CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN EV REGULATION

Addressing challenges and leveraging opportunities in Electric Vehicle (EV) regulation is crucial for fostering sustainable transportation. EV regulation often faces complexity due to diverse national, regional, and local regulations, hindering standardization and interoperability (Ramaswami et al., 2017).

Harmonizing regulations across jurisdictions and streamlining compliance pro-

cesses can facilitate EV market growth and cross-border mobility (Enevoldsen et al., 2020). Regulations must address the development of EV charging infrastructure, including standards for charger types, installation requirements, and interoperability (Ahrentzen et al., 2020). Ensuring adequate and accessible charging infrastructure is essential for overcoming range anxiety and promoting EV adoption (Nikolas et al., 2021). EV charging can strain electricity grids, necessitating regulations for grid integration, smart charging, and demand response mechanisms (He et al., 2018). Dynamic pricing, grid-friendly charging protocols, and incentives for off-peak charging can optimize grid utilization and minimize infrastructure upgrades (Zhang et al., 2020).

Regulations should ensure transparency and consumer protection in EV sales, leasing, and servicing, addressing issues such as battery warranties and maintenance costs (Tol et al., 2019). Clear guidelines on EV performance metrics, charging costs, and service standards can enhance consumer confidence and satisfaction (Banerjee et al., 2021). EV regulations must incorporate environmental standards, including lifecycle assessments, emissions reductions targets, and sustainable materials sourcing (Klöckner et al., 2019). Mandates for eco-labeling, emissions testing, and recycling requirements can promote environmental stewardship throughout the EV lifecycle (Choi et al., 2020). Regulatory frameworks should encourage innovation and research in EV technology, including incentives for R&D investment, technology demonstration projects, and pilot programs (Van Koten et al., 2021). Collaborative platforms for industry stakeholders, academia, and policymakers can foster knowledge exchange and accelerate technological advancements (Gallagher et al., 2017). Addressing these challenges and capitalizing on opportunities in EV regulation can pave the way for sustainable, equitable, and resilient transportation systems.

5. SUCCESSFUL EV ADOPTION INITIATIVES IN DIFFERENT REGIONS OR INDUSTRIES

Several regions and industries have implemented successful Electric Vehicle (EV) adoption initiatives, showcasing the versatility and potential of EVs in various contexts.

Nordic countries, including Norway, Sweden, Denmark, Finland, and Iceland. Comprehensive incentive programs, such as tax exemptions, toll discounts, free parking, and access to bus lanes, coupled with extensive charging infrastructure deployment. Norway has become a global leader in EV adoption, with EVs accounting for a significant percentage of new vehicle sales. This success demonstrates the effectiveness of holistic incentive packages in accelerating EV uptake (IEA, 2021). In China region, substantial government subsidies for EV purchases, investment in charging infrastructure, and policies promoting domestic EV manufacturing. China has emerged as the world's largest EV market, with millions of EVs sold annually. The country's aggressive incentives and infrastructure development have played a crucial role in driving EV adoption (Reuters, 2021). European Union (EU), Stringent emission regulations and targets, along with investment in EV charging infrastructure under the European Green Deal. The EU has set ambitious targets to reduce emissions and increase the share of EVs on the road. The regulatory framework encourages automakers to produce electric and hybrid vehicles, fostering innovation and competition in the EV market (European Commission, 2021). These successful EV adoption initiatives demonstrate the importance of comprehensive strategies, including incentives, infrastructure development, regulatory support, and industry collaboration, in accelerating the transition to electric transportation.

6. IMPLICATIONS OF THE STUDY

The present study had some theoretical implications as follows. First of all, the re-

search regarding the adoption of EVs has been extended from an environmentally friendly point of view. Previous research has taken the adoption of EVs as rational behavior, overlooking the influence of users' social, as well as psychological features, on their intention to adopt these technologies. Accordingly, the adoption of EVs has been regarded as both self-interest and unselfish behavior, while the impacts of personal norms, attitudes, subjective norms, and perceived behavioral control on the intentions to adopt EVs are also explored. Meantime, the effects of adopting EVs on sustainability aspects have been also dealt with. There are significant implications for policymakers to promote the evolution toward sustainability for which higher shares of EVs seem to be the best strategy. Moreover, the findings of the present study are useful for governmental authorities as well as vehicle sellers. In this regard, the effects of including economic and social dimensions on the development of efficient policies have been illustrated to motivate the adoption of such technologies nationally. Furthermore, significant insights are provided for policymakers to consider methods for estimation of optimum vehicle distribution procedures according to different environmental, social, and economic preferences. Although the integration of EVs with the current electric as well as transportation infrastructures in accordance with sustainability issues and in the most appropriate way is still uncertain, adoption of these technologies is growing steadily. Nevertheless, insufficient powerful incentives along with other detrimental effects of the market presentation have led Malaysia to lag behind other countries regarding the amount of EVs adoption. Meantime, it is noteworthy that promoting EVs with the aim of reducing greenhouse gases emissions resulting from transportation should not result in other unfavorable outcomes; therefore, conducting careful, scenario-based environmental evaluations of the suggested technologies seems essential prior to their large-scale adoption (Hawkins et al., 2012).

7. FUTURE POLICY DIRECTIONS TO PROMOTE EV ADOPTION AND SUSTAINABILITY

Future policy directions to promote Electric Vehicle (EV) adoption and sustainability should align with global climate goals and prioritize the transition to clean transportation.

Governments should set ambitious emission reduction targets, including phasing out internal combustion engine vehicles (ICEVs) and incentivizing EV adoption to achieve net-zero emissions (Nauc  r et al., 2020). Long-term policy frameworks with clear milestones can provide certainty for investors and drive innovation in EV technology and infrastructure (Klenert et al., 2018). Continued financial incentives, such as tax credits, rebates, and purchase subsidies, can lower the upfront costs of EVs and accelerate market penetration (Goulder et al., 2019). Targeted incentives for low-income households and fleet operators can ensure equitable access to EVs and address socio-economic disparities (Stokes et al., 2021). Policies should prioritize the expansion of EV charging infrastructure, including fast chargers along highways, urban charging hubs, and workplace charging stations (Tongia et al., 2019). Public-private partnerships and innovative financing mechanisms can facilitate infrastructure deployment and overcome investment barriers (Hoicka et al., 2021).

Governments should develop supportive regulatory frameworks, including vehicle emissions standards, fuel economy regulations, and mandates for zero-emission vehicle sales (Dagher et al., 2020). Harmonizing regulations across jurisdictions and promoting interoperability of EV charging networks can facilitate cross-border mobility and market growth (Rogers et al., 2019). Increased investment in research and development (R&D) is essential to drive innovation in EV technology, battery storage, and charging infrastructure (Horbach et al., 2020). Collaboration between governments, industry stakeholders, and research

institutions can accelerate technology advancements and address key challenges in EV adoption (Sovacool et al., 2018). Public education campaigns and awareness programs can dispel myths about EVs, promote their benefits, and address consumer concerns about range anxiety and charging infrastructure (Dobson et al., 2021). Workforce training programs and vocational education initiatives can prepare technicians and engineers for the growing EV industry and support job creation (Bauer et al., 2020). By implementing these future policy directions, governments can foster an enabling environment for EV adoption, drive sustainable transportation solutions, and mitigate climate change impacts.

8. CONCLUSION

Electric vehicles (EVs) represent a pivotal solution for addressing numerous challenges related to transportation, sustainability, and energy security. As highlighted throughout this discourse, EVs offer significant environmental, social, and economic benefits compared to traditional internal combustion engine vehicles. They contribute to reducing greenhouse gas emissions, improving air quality, and fostering economic growth through job creation and technological innovation. Despite the substantial advantages of EVs, several challenges remain, including range anxiety, charging infrastructure limitations, and high initial costs. However, ongoing advancements in battery technology, charging infrastructure development, and supportive government policies are gradually mitigating these barriers and accelerating EV adoption worldwide. Looking ahead, the widespread adoption of EVs will require continued collaboration among policymakers, industry stakeholders, and communities to address infrastructure needs, incentivize consumers, and promote sustainable transportation practices. By embracing innovation, investing in infrastructure, and fostering public awareness, we can realize the full potential of EVs to create a cleaner, healthier, and more sustainable future for generations to come.

In summary, EVs represent a transformative technology that has the potential to revolutionize the transportation sector and contribute significantly to global efforts to combat climate change and promote sustainable development. The widespread adoption of EVs has the potential to significantly reduce carbon emissions and improve air quality in the long term. As the global transportation sector continues to evolve, it is essential to prioritize the development of sustainable EV technologies, charging infrastructure, and energy sources to ensure a low-carbon future.

Limitations

While this review aims to provide a comprehensive overview of the impact of economic, social, and environmental factors on EV adoption, there are several limitations to consider when interpreting the findings.

Firstly, the majority of the studies reviewed were based on data from developed countries, which may not be representative of the global EV market. The adoption of EVs in developing countries may be influenced by different factors, such as limited access to charging infrastructure and varying government policies. Future research should aim to include a more diverse range of countries and contexts to better understand the global implications of EV adoption. Secondly, the review was limited to studies published in English, which may have excluded relevant research published in other languages. This limitation may have resulted in an incomplete understanding of the global EV market and its complexities. Thirdly, the review focused primarily on the impact of economic, social, and environmental factors on EV adoption, but did not explore the reciprocal relationships between these factors. For example, the impact of EV adoption on economic growth, social norms, and environmental sustainability may be significant, but these relationships were not explored in this review. Future research should aim to investigate these reciprocal relationships to provide a more comprehensive understanding of the

EV market. Fourthly, the review was based on a snapshot of the EV market at a particular point in time, and the findings may not be generalizable to future scenarios. The EV market is rapidly evolving, with new technologies and policies emerging regularly. Future research should aim to conduct longitudinal studies to capture the dynamic nature of the EV market. Finally, the review relied heavily on secondary data sources, which may have introduced biases and limitations. Future research should aim to collect primary data through surveys, interviews, or experiments to provide more accurate and reliable findings. In conclusion, while this review provides a comprehensive overview of the impact of economic, social, and environmental factors on EV adoption, it is essential to acknowledge the limitations of this study and future research should aim to address these limitations to provide a more complete understanding of the EV market.

9. REFERENCES

- Abdelaziz, E. A., Fathy, H., et al. (2019). Electric vehicle energy consumption and CO2 emissions: a review of empirical analysis. *International Journal of Energy Research*, 43(6), 2707-2731.
- Adnan, N., Nordin, S. M., Amini, M. H., Langove, N. (2018). What make consumer sign up to PHEVs? Predicting Malaysian consumer behavior in adoption of PHEVs. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 113, 259-278.
- Adnan, N., Vasant, P., Rahman, I., Noor, A. (2016). Adoption of plug-in hybrid electric vehicle among Malaysian consumers. *Ind Eng Manage* 5(185), 2169-0316.
- Ahrentzen, S., et al. (2020). Understanding and addressing the demand for electric vehicle charging infrastructure. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*.
- Al Mamun, A., Masud, M.M., Fazal, S.A., Muniady, R. (2019). Green vehicle adop-

tion behavior among low-income households: evidence from coastal Malaysia. *Environmental Science and Pollution Research* 26(26), 27305-27318

Axsen, J., Bailey, J., et al. (2018). Determinants of plug-in electric vehicle adoption: A synthesis of recent literature. *Transport Reviews*, 38(3), 265-293.

Axsen, J., Goldberg, S., et al. (2019). Regulating greenhouse gas emissions from electric vehicles in Canada. *Energy Policy*, 101, 42-52.

Axsen, J., Goldberg, S., et al. (2019). Social influence and consumer preference formation for pro-environmental vehicle technologies. *Nature Energy*, 4(1), 38-45.

Axsen, J., Orlebar, C., Skippon, S., 2013. Social influence and consumer preference formation for pro-environmental technology: The case of a UK workplace electric-vehicle study. *Ecological Economics* 95, 96-107.

Banerjee, P., et al. (2021). Sustainability criteria for the adoption of electric vehicles: A review. *Journal of Cleaner Production*.

Basner, M., Babisch, W., et al. (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, 383(9925), 1325-1332.

Bauer, N., et al. (2020). Electric vehicle skills and knowledge in the Australian automotive industry. *Journal of Cleaner Production*.

California Air Resources Board. (2021). Zero Emission Vehicle (ZEV) Program. CARB.

Caperello, N., Kumar, K., et al. (2018). Electric vehicle charging infrastructure deployment: A review of local, state, and federal policies in the United States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 3002-3010.

Chen, X., Zheng, Z., & Liu, X. (2024). Integrated Energy System Optimization for Electric Vehicles and Demand Response within Carbon Trading Mechanism. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 1-13.

Choi, S., et al. (2020). Electric vehicle (EV) battery management systems: Issues, challenges, and strategies. *Applied Energy*.

Chu, W., Im, M., Song, M.R., Park, J. (September, 2019). Psychological and behavioral factors affecting electric vehicle adoption and satisfaction: A comparative study of early adopters in China and Korea. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 76, 1-18.

Clinton, B.C., Steinberg, D.C., 2019. Providing the Spark: Impact of financial incentives on battery electric vehicle adoption. *Journal of Environmental Economics and Management* 98, 102255.

Cohen, A. J., Brauer, M., et al. (2017). Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: An analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet*, 389(10082), 1907-1918.

Dagher, L., et al. (2020). *Zero-emission vehicle standards: Considerations for Canada*. C.D. Howe Institute Commentary.

de Wolf, D., Diop, N., & Kilani, M. (2024). Environmental impacts of enlarging the market share of electric vehicles [Impact environnemental de l'élargissement de la part de marché des véhicules électriques] (No. hal-04551704).

Deloitte. (2020). *Electric vehicle trends, insights and considerations for utilities*. Deloitte Insights.

Dobson, N., et al. (2021). Transitioning to electric vehicles: A study of consumer attitudes, intentions, and perceptions in

Australia. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*.

Dunn, J. B., Gaines, L., et al. (2014). Environmental implications of electric vehicle battery production and recycling. *Environmental Science & Technology*, 48(6), 3959-3967.

Dunn, J. B., Gaines, L., et al. (2016). Evaluation of life cycle greenhouse gas emissions from plug-in hybrid vehicles. *Environmental Science & Technology*, 50(11), 6111-6121.

Egbue, O., Long, S., Samaranayake, V.A. (2017). Mass deployment of sustainable transportation: evaluation of factors that influence electric vehicle adoption. *Clean Technologies and Environmental Policy* 19(7), 1927-1939.

Ellingsen, L. A. W., Majeau-Bettez, G., et al. (2014). Life cycle assessment of passenger transportation in the United States. *Environmental Science & Technology*, 48(6), 3178-3186.

Enevoldsen, P., et al. (2020). *Electric vehicle charging infrastructure regulation in Denmark. Sustainability*.

Environmental Protection Agency (EPA). (2021). *Federal Incentives for Propane Vehicles and Mowers*. U.S. EPA.

España, N., Murillo-Hoyos, J., & Caicedo, E. (2024). Methodology for the comparative evaluation of vehicle technologies in intermediate cities considering electric vehicles. *Transportation research interdisciplinary perspectives*, 24, 101068.

EY. (2020). *Electrifying the economy: Opportunities and challenges for the European electricity sector*. EY.

Faria, R., Cunha, B., et al. (2019). Electric vehicle charging infrastructure: A review of key considerations for grid integration. *Re-*

newable and Sustainable Energy Reviews, 113, 109263.

Franco, V., et al. (2020). *Global EV Outlook 2020*. International Energy Agency (IEA).

Gallagher, K. G., Muehlegger, E., et al. (2012). Understanding the drivers of electric and fuel cell vehicle adoption: Lessons for increasing green mobility. *Energy Policy*, 49, 467-480.

Gallagher, K., et al. (2017). *Innovation and technology diffusion: A global policy perspective*. Edward Elgar Publishing.

Ganz, K., Kern, T., & Hinterstocker, M. (2024). Systemic Evaluation of PV Self-Consumption Optimization Using Electric Vehicles. *World Electric Vehicle Journal*, 15(3), 98.

Goulder, L. H., et al. (2019). *Impacts of electric vehicle subsidies*. National Bureau of Economic Research.

Gross, M. (2018). Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, impacts, and renewable energy integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1952-1965.

Han, H., Zhao, X., et al. (2020). *Environmental impact analysis of electric vehicles: A review*. *Journal of Cleaner Production*, 274, 123013.

Hao, Y., Dong, X.-Y., Deng, Y.-X., Li, L.-X., Ma, Y. (2016). What influences personal purchases of new energy vehicles in China? An empirical study based on a survey of Chinese citizens. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 8(6), 065904.

Hardman, S., Breetz, H. L., et al. (2019). Equity and electric vehicles: Environmental and social justice in transportation. *Energy Research & Social Science*, 57, 101239.

Hawkins, T. R., et al. (2013). Comparative Environmental Life Cycle Assessment of

Conventional and Electric Vehicles. *American Chemical Society Symposium Series*, 1149, 67-79.

Hawkins, T. R., Singh, B., et al. (2013). Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 17(1), 53-64.

Hawkins, T.R., Gausen, O.M., Strømman, A.H. (2012). Environmental impacts of hybrid and electric vehicles a review. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 17(8), 997-1014.

He, Q., Xu, Y., et al. (2021). A review of electric vehicles in the context of energy security. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 148, 111345.

He, R., et al. (2018). *Smart charging strategies and impacts analysis of electric vehicle charging infrastructure on distribution networks*. IET Smart Grid.

Hoek, G., Krishnan, R. M., et al. (2013). Long-term air pollution exposure and cardio- respiratory mortality: A review. *Environmental Health*, 12(1), 43.

Hoicka, C. E., et al. (2021). *Making the transition to electric vehicle-ready multi-unit residential buildings: Policy challenges and solutions*. Energy Policy.

Horbach, J., et al. (2020). *Environmental innovation and firm performance: How firm size and ownership influence the outcome?* Business Strategy and the Environment.

Hui, L. I. A. O., Yaodong, L. I., Xianfu, G. O. N. G., Zhang, T., & Huang, Y. (2024). Low Carbon Dispatch of The Park Integrated Energy System Based On The Electric Vehicles Flexible Load Storage Characteristics. *Thermal Science*, 28.

IEA (International Energy Agency). (2019). *The Future of Trucks: Implications for Energy and the Environment*. IEA Publishing.

IEA, (2019). "Global EV Outlook 2019", IEA, Paris Jansson, J., Nordlund, A., Westin, K., 2017. Examining drivers of sustainable consumption: The influence of norms and opinion leadership on electric vehicle adoption in Sweden. *Journal of Cleaner Production* 154, 176-187.

International Energy Agency (2021) *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*. OECD Publishing, Paris.

International Energy Agency (IEA). (2021). *Global EV Outlook 2021: Accelerating the transition to electric mobility*. IEA Publications.

International Renewable Energy Agency (Irena). (2019). *Global energy transformation: A roadmap to 2050*. Irena.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2018). *Global warming of 1.5°C. IPCC Special Report*.

Jacobson, M. Z. (2009). Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security. *Energy and Environmental Science*, 2(2), 148-173.

Kahn, J., Lemus, A., et al. (2015). Electric vehicle social groups: Defining EV communities through their social functions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 41, 166-177.

Kang, J., Skerlos, S. J., et al. (2016). Allocation and valuation of embedded energy and greenhouse gas emissions in the design of complex systems. *Environmental Science & Technology*, 50(6), 3108-3117.

Klenert, D., et al. (2018). *Making carbon pricing work for citizens*. Nature Climate Change.

Klößner, C. A., et al. (2019). *Electric vehicles in the United States: A new model with forecasts to 2030*. Applied Energy.

- Krause, R. M., Shylo, S., et al. (2018). Community-based electric vehicle infrastructure: A case study of Electric Corridor I-5. *Journal of Transport Geography*, 68, 153-164.
- Langbroek, J.H.M., Cebecauer, M., Malmsten, J., Franklin, J.P., Susilo, Y.O., Georén, P., 2019. Electric vehicle rental and electric vehicle adoption. *Research in Transportation Economics* 73 (August 2018), 72-82.
- Laugwitz, R. (2017). The development of electric vehicles and its impact on the energy industry. *Energy*, 120, 58-65.
- Le Quéré, C., Andrew, R. M., et al. (2018). Global carbon budget 2018. *Earth System Science Data*, 10(4), 2141-2194.
- Li, W., Long, R., Chen, H., Geng, J. (2017). A review of factors influencing consumer intentions to adopt battery electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 78 (December 2016), 318-328.
- Li, Z., Ma, Y., et al. (2021). Review of electric vehicle charging infrastructure development: Lessons for China. *Energy Policy*, 149, 112118.
- Liu, Y., et al. (2020). Life cycle environmental impacts of electric vehicles: A review. *Journal of Cleaner Production*, 267, 122098.
- Mallapragada, D. S., Vasquez, J. L., et al. (2021). The geography of electric vehicle manufacturing in the United States: Opportunities and challenges. *Journal of Transport Geography*, 93, 103086.
- Miotti, M., Sachdeva, S., et al. (2016). The energy efficiency potential of electric vehicles in China: A lifecycle emissions analysis. *Applied Energy*, 184, 995-1003.
- Mudd, G. M. (2010). The environmental sustainability of mining in Australia: Key mega-trends and looming constraints. *Resources Policy*, 35(2), 98-115.
- Mukherjee, S.C., Ryan, L. (2020). Factors influencing early battery electric vehicle adoption in Ireland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 118 (January 2019), 109504-109504.
- Münzel, T., Gori, T., et al. (2018). Cardiovascular effects of environmental noise exposure. *European Heart Journal*, 39(34), 2443-2454.
- Nasab, M. A., Al-Shibli, W. K., Zand, M., Ehsan-maleki, B., & Padmanaban, S. (2024). Charging management of electric vehicles with the presence of renewable resources. *Renewable Energy Focus*, 48, 100536.
- Naucclér, T., et al. (2020). *A policymaker's guide to net zero carbon targets*. Stockholm Environment Institute.
- Nealer, R., LeCuyer, O., et al. (2020). *Electric vehicle manufacturing: Modeling, analysis, and infrastructure considerations*. Center for Climate and Energy Solutions (C2ES).
- Nikolaou, P., Fthenakis, V., et al. (2019). Life cycle environmental impacts of high-capacity lithium ion battery storage for renewable power integration and electric vehicle in New York state. *Renewable Energy*, 132, 1026-1036.
- Nikolas, A., et al. (2021). Barriers and drivers of electric vehicle adoption: A literature review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*.
- Noppers, E.H., Keizer, K., Bolderdijk, J.W., Steg, L., 2014. The adoption of sustainable innovations: driven by symbolic and environmental motives. *Global Environmental Change* 25, 52-62.
- Notten, P., Tolle, D., et al. (2017). Historical development of electric mobility in Europe and the United States. *Energy Policy*, 107, 159-168.

- Onat, N.C., Kucukvar, M., Tatari, O., 2015. Conventional, hybrid, plug-in hybrid or electric vehicles? State-based comparative carbon and energy footprint analysis in the United States. *Applied Energy* 150, 36-49.
- Peters, A., Wilhelm, M., et al. (2017). Total cost of ownership and market share for hybrid and electric vehicles in the UK, US and Japan. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52, 400-414.
- Pirmana, V., Alisjahbana, A. S., Yusuf, A. A., Hoekstra, R., & Tukker, A. (2023). Economic and environmental impact of electric vehicles production in Indonesia. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 25(6), 1871-1885.
- Ramaswami, A., et al. (2017). *Enabling circular economies: The role of standardized labeling and recycling*. Environmental Science & Technology.
- Ramirez-Vallejo, J., et al. (2020). Life cycle assessment of electric vehicles: A review of current studies and recommendations. *Energies*, 13(22), 6003.
- Rogers, J., et al. (2019). *The role of policies in supporting plug-in electric vehicle adoption: International lessons for the United States*. Rand Corporation.
- Rugh, J., & Kuffner, M. (2013). *Advances in electric vehicle powertrains*. Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC).
- Sang, Y.-N., Bekhet, H.A., 2015. Modelling electric vehicle usage intentions: an empirical study in Malaysia. *Journal of Cleaner Production* 92, 75-83.
- Schäfer, A. W., Victor, D. G., et al. (2018). The future mobility of the world population. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 115, 28-42.
- Schiermeier, Q. (2020). Carbon dioxide levels hit record high despite COVID-19 lockdowns. *Nature*, 579(7797), 439-439.
- Shaheen, S. A., Cohen, A. P., et al. (2017). Electric vehicle market and consumer analysis. *Vehicle Electrification*, 17(8), 146-162.
- Shang, H., Sun, Y., Huang, D., & Meng, F. (2024). Life cycle assessment of atmospheric environmental impact on the large-scale promotion of electric vehicles in China. *Resources, Environment and Sustainability*, 15, 100148.
- Shao, Z., Noktehdan, A., et al. (2017). Modeling and analysis of electric vehicle charging behavior. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(5), 1397-1406.
- Smith, A., et al. (2013). Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 17(1), 53-64.
- Sovacool, B. K., et al. (2018). *The socio-technical barriers to electric vehicles: Drivers' perceptions of policy measures, energy system actors, and market initiatives*. Energy Policy.
- Sperling, D., & Gordon, D. (2009). *Two billion cars: Driving toward sustainability*. Oxford University Press.
- Stephens, T. S., Lin, J., et al. (2019). Electrifying ride-hailing services: A comparative analysis of energy consumption, greenhouse gas, and air pollution emissions. *Environmental Research Letters*, 14(9), 094031.
- Stephenson, J., Barton, B., et al. (2020). The role of state incentives in electric vehicle adoption. *Energy Policy*, 144, 111591.
- Stephenson, J., Barton, B., et al. (2020). The role of state incentives in electric vehicle adoption. *Energy Policy*, 144, 111591.
- Stocker, T. F., & Schraner, M. (2018). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Inter-*

governmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Stokes, L. C., et al. (2021). Equity in electric vehicle adoption: The potential of electric vehicle subsidies to address demographic disparities in California. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*.

Sullivan, J. L., & Locey, C. (2016). A comprehensive review of the environmental impacts of petroleum production operations: Gas-to-liquids, oil sands, oil shale, and conventional offshore oil. *Environmental Engineering Science*, 33(10), 707-721.

Tamor, M.A., Gearhart, C., Soto, C., 2013. A statistical approach to estimating acceptance of electric vehicles and electrification of personal transportation. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 26, 125-134.

Tol, A., et al. (2019). Policy drivers and barriers for electric mobility: Experiences from Norway. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*.

Tongia, R., et al. (2019). *Electric vehicle charging infrastructure: Frameworks, policies, and programs*. The Energy Journal.

UC Berkeley (2020). *The Impact of Electric Vehicles on Air Quality in California*.

UCS (2020). *Electric Vehicle Emissions: A Review of the Science*.

United Nations (UN). (2021). *Sustainable Development Goals*. United Nations.

Van Koten, H., et al. (2021). *Accelerating the deployment of electric vehicles: Insights from a choice experiment*. Energy Economics.

Wang, Q., Lu, Y., et al. (2020). Electric vehicle technology innovation and industry development in China: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 121, 109672.

Wu, C., Ma, Y., et al. (2021). Electric vehicle development in China: Policies, status,

and future perspectives. *Energy Policy*, 149, 112084.

Wu, J., Liao, H., Wang, J.-W., Chen, T., 2019. The role of environmental concern in the public acceptance of autonomous electric vehicles: A survey from China. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 60, 37-46.

Wu, T., Yan, Y., et al. (2020). *Review of aging mechanisms of lithium ion*

Zhang, L., et al. (2020). *Electric vehicle charging infrastructure planning with sustainability and uncertainty considerations*. Applied Energy.

Zhang, X., Bai, X., Shang, J. (2018). Is subsidized electric vehicles adoption sustainable: Consumers' perceptions and motivation toward incentive policies, environmental benefits, and risks. *Journal of Cleaner Production* 192, 71-79.

Zhang, Y., Chen, H., et al. (2019). Air quality and health benefits of China's electric vehicle expansion. *Nature Sustainability*, 2(6), 557-565.

Zhang, Y., et al. (2018). Investigation of the environmental benefits of electric vehicles based on life cycle assessment in China. *Applied Energy*, 216, 1-10.

Zheng, J., Zhao, J., et al. (2021). Electric vehicle deployment and charging infrastructure planning: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, 110910.

Zhou, J., Weng, Z., Li, J., & Song, X. (2024). Reliability evaluation, planning, and economic analysis of microgrid with access to renewable energy and electric vehicles. *Electric Power Systems Research*, 230, 110252.

Zietsman, J., Pretorius, L., et al. (2017). A review of electric vehicle market diffusion models and reality checks against empirical data. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52, 372-387.

Frequency Responses of a Graphene Oxide Reinforced Concrete Structure

Respuestas de frecuencia de una estructura de hormigón reforzado con óxido de grafeno

EÍDOS N°24
Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo
ISSN: 1390-5007
revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos

^{1,2,3,4}Mostafa Habibi, ⁵Mohammad Habibi, ⁶Emad Toghroli, ^{7,8}Maryam Safa, ^{9,10}Morteza Shariati

¹Institute of Research and Development, Duy Tan University, Da Nang 550000, Viet Nam.

²Faculty of Electrical-Electronic Engineering, Duy Tan University, Da Nang 550000, Viet Nam.

³Department of Biomaterials, Saveetha Dental College and Hospital, Saveetha Institute of Medical and Technical Sciences, Chennai, 600 077, India.

⁴Center of Excellence in Design, Robotics, and Automation, Department of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology, Azadi Avenue, P.O. Box 11365-9567, Tehran, Iran. mostafahabibi@duytan.edu.vn.
ORCID: 0000-0003-1638-0338

⁵Department of Materials and Metallurgy, Faculty of Mechanical and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Mohammad@calut.com.au. ORCID: 0009-0009-0772-5841

⁶Department of Civil Engineering, Calut Company Holding, Melbourne, 800, Australia.
emadtoghroli@calut.com.au. ORCID: 0009-0005-3593-5345

⁷Institute of Research and Development, Duy Tan University, Da Nang 550000, Viet Nam.

⁸Faculty of Electrical-Electronic Engineering, Duy Tan University, Da Nang 550000, Viet Nam.
maryamsafa@duytan.edu.vn. ORCID: 0009-0003-0535-7447

⁹Department of Civil Engineering, Calut Company Holding, Melbourne, 800, Australia.

¹⁰Department of Civil Engineering Discipline, School of Engineering, Monash University, Melbourne 3800, Australia. mortezashariati@calut.au. ORCID: 0009-0007-0258-0896

Abstract:

This paper presents a comprehensive investigation on the vibrations of reinforced concrete structure by graphene oxide powders (GOPs) using a polynomial displacement field and the Generalized Differential Quadrature Method (GDQM). The study focuses on analyzing the dynamic behavior of the structure and assessing the effects of three different distribution patterns of GOPs on its vibrations. To accurately model the deformation of the pressure vessel, a polynomial displacement field is employed, taking into account the complex geometrical and material properties of the structure. The results highlight the significant influence of the distribution pattern of GOPs on the natural frequencies of the spherical concrete pressure vessel. The analysis reveals that variations in the weight fraction and arrangement of GOPs have a direct

impact on the stiffness and dynamic characteristics of the structure. Specifically, increasing the weight fraction of GOPs generally leads to higher natural frequencies, indicating enhanced structural rigidity. Moreover, the polynomial displacement field and GDQM demonstrate their effectiveness in accurately predicting the vibrations of the reinforced pressure vessel. The combination of these numerical techniques enables efficient and reliable analysis of the dynamic response, allowing for optimization of the design and performance of spherical concrete pressure vessels.

Keywords: Frequency, vibration; GDQM, graphene oxide powders, GDQM, stability.

Resumen:

Este artículo presenta una investigación exhaustiva sobre las vibraciones de estructuras de hormigón armado mediante polvos de óxido de grafeno (GOP) utilizando un campo de desplazamiento polinómico y el Método de Cuadratura Diferencial Generalizada (GDQM). El estudio se centra en analizar el comportamiento dinámico de la estructura y evaluar los efectos de tres patrones diferentes de distribución de GOP sobre sus vibraciones. Para modelar con precisión la deformación del recipiente a presión, se emplea un campo de desplazamiento polinómico, teniendo en cuenta las complejas propiedades geométricas y materiales de la estructura. Los resultados resaltan la influencia significativa del patrón de distribución de GOP en las frecuencias naturales del recipiente a presión de hormigón esférico. El análisis revela que las variaciones

en la fracción de peso y la disposición de los GOP tienen un impacto directo en la rigidez y las características dinámicas de la estructura. Específicamente, aumentar la fracción de peso de los GOP generalmente conduce a frecuencias naturales más altas, lo que indica una mayor rigidez estructural. Además, el campo de desplazamiento polinómico y el GDQM demuestran su eficacia para predecir con precisión las vibraciones del recipiente a presión reforzado. La combinación de estas técnicas numéricas permite un análisis eficiente y confiable de la respuesta dinámica, lo que permite optimizar el diseño y el rendimiento de los recipientes a presión de hormigón esféricos.

Palabras claves: Frecuencia, vibración; GDQM, polvos de óxido de grafeno, GDQM, estabilidad.

1. INTRODUCTION

Spherical structures find various applications across different industries due to their unique properties and benefits. Here are some notable uses of spherical structures in different industrial sectors (L. Lu, Liao, Habibi, Safarpour, & Ali, 2023; S. Lu, Li, Habibi, & Safarpour, 2023; Ma, Chen, Habibi, & Albaijan, 2023; Tang, Wu, Habibi, Safarpour, & Ali, 2023; Y. Wang et al., 2023). Spherical structures, such as spherical tanks or spheres, are commonly used for the storage of liquefied petroleum gas (LPG) and other volatile fluids (Chen & Lin, 2008; Lee, Yoon, Park, & Yi, 2005). The spherical shape allows for even distribution of pressure, resulting in enhanced structural integrity and reduced stress concentration. Spheres are also used in oil refineries and petrochemical plants for storing gases and liquids under high pressure. In addition, these structures play an important role in aerospace applications, primarily in the design of satellites and space exploration vehicles (Ebrahimi, Hajilak, Habibi, & Safarpour, 2019; Ebrahimi, Mohammadi, Barouti, & Habibi, 2019; Ebrahimi, Supeni, Habibi, & Safarpour, 2020; Habibi, Safarpour, & Safarpour, 2020; Hashemi et al., 2019; H Moayedi et al., 2020; Hossein Moayedi, Ebrahimi, Habibi, Safarpour, & Foong, 2020; H Moayedi, Habibi, Safarpour, Safarpour, & Foong, 2019; Mohammadgholiha,

Shokrgozar, Habibi, & Safarpour, 2019; Mohammadi, Lashini, Habibi, & Safarpour, 2019; Oyarhossein et al., 2020; Shariati, Habibi, Tounsi, Safarpour, & Safa, 2020; Shariati, Mohammad-Sedighi, Žur, Habibi, & Safa, 2020; Shokrgozar, Safarpour, & Habibi, 2020). The use of spherical fuel tanks in spacecraft can ensure uniform fuel distribution and stability during maneuvers. In the structure design of the buildings, spherical structures are used in architecture and construction for their aesthetic appeal and structural advantages. Moreover, spherical reactors and vessels are utilized in the chemical and pharmaceutical industry for various processes, such as synthesis, mixing, and containment of reactive substances. Recently, spherical structures find application in renewable energy generation, such as solar power. Solar concentrators, also known as solar spheres, are spherical reflective surfaces used to concentrate sunlight onto a receiver, which then converts it into electricity or thermal energy (Dai, Jiang, Zhang, & Habibi, 2021; Guo et al., 2021; Kong et al., 2022; Z. Liu, Su, Xi, & Habibi, 2020; Shao, Zhao, Gao, & Habibi, 2021; Z. Wang, Yu, Xiao, & Habibi, 2020; Wu & Habibi, 2021; Zhou, Zhao, Zhang, Fang, & Habibi, 2020). In all these applications, spherical structures are subjected to the various loadings from static

to dynamic loading and, hence, structural integrity and strength of such structure is of most important in the design stage.

Although, most of the spherical structures are made from metals and composite materials, there can found examples of construction of spherical vessels using concrete materials (Hamed, Bradford, & Ian Gilbert, 2010; Yan, Wang, Zhai, Meng, & Zhou, 2019; Yue et al., 2022; Zingoni, 2022). Spherical shapes are preferred as they provide optimal volume-to-surface ratio, allowing for efficient accommodation of payloads while minimizing weight and heat transfer. Moreover, concrete are the most used and available materials of construction and demonstrates preferable sustainability and load-carrying capacity.

Novel concretes are usually reinforces with nano-scale materials such carbon nanotubes (CNTs) (Shahpari, Bamonte, & Jalali Mosallam, 2022; Siahkouhi, Razaqpur, Hoult, Hajmohammadian Baghban, & Jing, 2021), graphene platelets (GPLs) (Jaramillo & Kalfat, 2023; Sajjad, Sheikh, & Hadi, 2022) and graphene oxide powders (GOPs) (Cong, Cheng, Tang, & Ling, 2023; Hwangbo et al., 2023; Zeng, Qu, Tian, Hu, & Li, 2023). These nano-materials demonstrated desirable improvement in the concrete properties.

Structural analyses of the concrete structures, as a specific type of composite materials, are widespread. However, one can categorized these analyses in three major categories based on the responses of the structures: static (Godoy, 1987), dynamic (Dong, Li, & Zheng, 2010), stability (Pan & Cui, 2010; J. Zhang et al., 2018) analyses. In the static analysis, the main focus is on the state of displacement and stress distribution of the concrete under static and semi-static loading conditions. In these analyses, deflection of the structure is important to for functionality of the structure and stress information is used to design a superior structure to avoid failure. Mahapatra et al. investigated the large deflection vibration. In the study conducted by Ma-

hapatra et al. (Mahapatra, Kar, & Panda, 2015), the focus was on investigating the behavior of spherical structures made from layer-wise composite materials under large deflection vibrations. Their analysis considered various types of loading, including thermal and moisture loadings. To mathematically model the composite structure, they employed a higher-order shear deformation theory and a general nonlinear form of Green strain definition. By applying Hamilton's principle, they derived the governing equations for the system. The results revealed the significant influence of the composite pattern and geometry on the frequency responses of the spherical structure.

Van Do and Lee (Van Do & Lee, 2020) extended the research by evaluating both static deflection and free oscillation characteristics of spherical and cylindrical composite shell structures reinforced with Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP). They utilized an isogeometric analysis methodology and incorporated different configurations of reinforcement distribution in the laminate composite. The analyses employed Reddy's shell model and Non-Uniform Rational B-Spline (NURBS) curves. The primary focus of their study was to investigate the impact of varying reinforcement distributions on the static and dynamic responses of curved shell structures.

The post-buckling behavior of spherical shells is of great importance in numerous industrial applications. Hutchinson (Hutchinson, 2016) conducted an analytical investigation to explore the post-buckling state in spherical structures using analytical methods. This research aimed to provide insights into the structural behavior and stability of spherical shells following the occurrence of buckling.

Additionally, Ghavanloo et al. (Ghavanloo, Rafii-Tabar, & Fazelzadeh, 2019) introduced the nonlocal theory of elasticity in their analysis of small-size spherical structures subjected to vibrations. The study highlighted that the dynamic response of

small-scale spherical structures differs from that of macro-scale spheres. The incorporation of nonlocal effects allowed for a more comprehensive understanding of the vibration behavior in small-sized structures. Pang et al. (Pang, Li, Chen, & Shan, 2021) examined the effects of boundary conditions on the vibrational behavior of a jointed cylindrical and spherical dome using Rayleigh-Ritz method.

Overall, these studies collectively contribute to advancing our understanding of the behavior of spherical structures made from composite materials under various loading conditions, including large deflection vibrations, static deflections, post-buckling, and small-scale dynamic responses.

The study focuses on analyzing the dynamic behavior of the pressure vessel and assessing the effects of three different distribution patterns of GOPs on its vibrations. To accurately model the deformation of the pressure vessel, a polynomial displacement field is employed, taking into account the complex geometrical and material properties of the structure. The results highlight the significant influence of the distribution pattern of GOPs on the natural frequencies of the spherical concrete pressure vessel. The analysis reveals that variations in the weight fraction and arrangement of GOPs have a direct impact on the stiffness and dynamic characteristics of the structure.

2. METHODOLOGY

2.1. GOP Distribution in Thickness

Figure 1 illustrates an FG-GOPRC spherical structure along with different patterns depicting the distribution of GOPs (Graphene Oxide Polymer Reinforced Composites) in the thickness direction of the spherical shell.

Moving forward, the material properties relevant to this investigation were determined using the Halpin-Tsai homogenization method. This method allows for the estimation of the effective material properties of composite materials, such as the Young's modulus. By employing the Halpin-Tsai approach, we are able to calculate the Young's modulus, which is a key parameter for characterizing the stiffness of the material (Z. Zhang et al., 2020) as follows:

$$E = 0.49 \times \frac{1 + z_L Y_L V_{GOP}}{1 - Y_L V_{GOP}} \times E_m + 0.51 \times \frac{1 + z_t Y_t V_{GOP}}{1 - Y_t V_{GOP}} \times E_m \quad (1)$$

in which, $z_L = z_t = 2 \frac{d_{GOP}}{h_{GOP}}$,

and $Y_t = -\frac{1 - \left(\frac{\epsilon_{GOP}}{\epsilon_m}\right)}{z_t + \left(\frac{\epsilon_{GOP}}{\epsilon_m}\right)}$.



Figure 1. Schematic view of various GPL distribution patterns

In addition to the Young's modulus, the density and Poisson's ratio also considered as follows:

$$\begin{aligned}\rho &= \rho_{GOP} \mathcal{V}_{GOP} + \rho_m (1 - \mathcal{V}_{GOP}), \\ \nu &= \nu_{GOP} \mathcal{V}_{GOP} + \nu_m (1 - \mathcal{V}_{GOP})\end{aligned}\quad (2)$$

And the shear modulus of the system can be defined as:

$$G = \frac{\mathcal{E}}{2(1+\nu)}, \quad (3)$$

Lastly, the different pattern of GOPs can be defined as followings for GOP-X (Eq. (4a)), GOP-O (Eq. (4b)) and GOP-UD (Eq. (4c)), (Z. Zhang et al., 2020):

$$\mathcal{V}_{GOP}(k) = 2\mathcal{V}_{GOP}^* \left(\frac{|2k - N_L - 1|}{N_L} \right), \quad (4a)$$

$$\mathcal{V}_{GOP}(k) = 2\mathcal{V}_{GOP}^* \left(1 - \frac{|N_L - 2k + 1|}{N_L} \right), \quad (4b)$$

$$\mathcal{V}_{GOP}(k) = \mathcal{V}_{GOP}^* \quad (4c)$$

Where k changes from 1 layer to N_L .

2.2. Equation of Motion

The displacement field of the spherical shell is expressed by

$$\begin{aligned}R(\varnothing, \theta, Z, t) &= R_0(\varnothing, \theta, t) + \\ &ZR_1(\varnothing, \theta, t) + Z^2R_2(\varnothing, \theta, t) + \\ &Z^3R_3(\varnothing, \theta, t) + Z^4R_4(\varnothing, \theta, t) + \\ &Z^5R_5(\varnothing, \theta, t),\end{aligned}\quad (5a)$$

$$\begin{aligned}S(\varnothing, \theta, Z, t) &= S_0(\varnothing, \theta, t) + \\ &ZS_1(\varnothing, \theta, t) + Z^2S_2(\varnothing, \theta, t) + \\ &Z^3S_3(\varnothing, \theta, t) + Z^4S_4(\varnothing, \theta, t) + \\ &Z^5S_5(\varnothing, \theta, t),\end{aligned}\quad (5b)$$

$$\begin{aligned}T(\varnothing, \theta, Z, t) &= T_0(\varnothing, \theta, t) + \\ &ZT_1(\varnothing, \theta, t) + Z^2T_2(\varnothing, \theta, t) + \\ &Z^3T_3(\varnothing, \theta, t) + Z^4T_4(\varnothing, \theta, t) + \\ &Z^5T_5(\varnothing, \theta, t)\end{aligned}\quad (5c)$$

Where strain displacement can be defined as follows

$$\begin{aligned}g_{\varnothing\varnothing} &= \frac{\partial R}{r\partial\varnothing} + \frac{T}{r}, \quad g_{\theta\theta} = \frac{\partial S}{r_1\partial\theta} + \frac{R}{rr_1} \frac{\partial R_1}{\partial\theta} + \\ &\frac{T}{r}, \quad g_{zz} = \frac{\partial T}{\partial z}, \\ g_{\varnothing\theta} &= \frac{\partial S}{r\partial\varnothing} - \frac{S}{rr_1} \frac{\partial R_1}{\partial\varnothing} + \frac{\partial R}{r_1\partial\theta}, \quad g_{\varnothing z} = \frac{\partial R}{\partial z} - \\ &\frac{R}{r} + \frac{\partial T}{r\partial\varnothing}, \quad g_{\theta z} = \frac{\partial S}{\partial z} - \frac{S}{r} + \frac{\partial T}{r_1\partial\theta}\end{aligned}\quad (6)$$

By substituting $r_1 = r \sin \varnothing$ in Eq. (6)

$$\begin{aligned}g_{\varnothing\varnothing} &= \frac{\partial R}{r\partial\varnothing} + \frac{T}{r}, \quad g_{\theta\theta} = \frac{1}{r\sin(\varnothing)} \frac{\partial S}{\partial\theta} + \\ &\frac{\cot(\varnothing)R}{r} + \frac{T}{r}, \quad g_{zz} = \frac{\partial T}{\partial z}, \\ g_{\varnothing\theta} &= \frac{\partial S}{r\partial\varnothing} - \frac{\cot(\varnothing)S}{r} + \\ &\frac{1}{r\sin(\varnothing)} \frac{\partial R}{\partial\theta}, \quad g_{\varnothing z} = \frac{\partial R}{\partial z} - \frac{R}{r} + \frac{\partial T}{r\partial\varnothing}, \\ g_{\theta z} &= \frac{\partial S}{\partial z} - \frac{S}{r} + \frac{1}{r\sin(\varnothing)} \frac{\partial T}{\partial\theta}.\end{aligned}\quad (7)$$

The unknown quantities in the above equations could be found in (Al-Furjan et al., 2022; Al-Furjan, Oyarhossein, Habibi, Safarpour, & Jung, 2020; Habibi, Mohammedi, Safarpour, Shavalipour, & Ghadiri, 2021; H. Moayedi et al., 2020)

2.3. Hamilton's Principle

The equations that determine motion are derived based on Hamilton's principle:

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} (\Pi_k - (\Pi_e + \Pi_w)) dt = 0, \quad (8)$$

Where Π_k , Π_e , and Π_w stand for the kinetic energy, potential energy, and work done by the system respectively. The kinetic energy of the moving plate is indicated as follows

$$\Pi_k = \int_V \frac{1}{2} \rho(\varnothing, \theta, z) \left[\left(\frac{\partial R}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right)^2 \right] dV, \quad (9)$$

The potential energy of the axially moving plate is illustrated as follows

$$\Pi_u = \int_V \frac{1}{2} [\kappa_{\phi\phi} g_{\phi\phi} + \kappa_{\theta\theta} g_{\theta\theta} + \kappa_{zz} g_{zz} + \kappa_{\theta z} g_{\theta z} + \kappa_{\phi z} g_{\phi z} + \kappa_{\phi\theta} g_{\phi\theta}] dV, \quad (10)$$

The work done by the system:

$$\Pi_u = \int_A \frac{P}{2} \left\{ \frac{1}{r^2 \sin(\phi)} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\sin(\phi) \frac{\partial T_0}{\partial \phi} \right) \right\} + \frac{1}{r^2 \sin^2(\phi)} \frac{\partial^2 T_0}{\partial \phi^2} \right\} T_0 dA, \quad (11)$$

Where P indicates the In-plane mechanical loading. Substituting Eqs. (9), (10), and (11) into Eq. (8), the governing equations of motion and boundary conditions are obtained.

3. SOLUTION PROCEDURE

To illustrate the approximations involved in the Harmonic Differential Quadrature Method (HDQM) using a one-dimensional function, the following equation expresses the p th derivative of $F(\phi)$ in terms of ϕ :

$$\frac{\partial^p F(\phi)}{\partial \phi^p} = \sum_{j=1}^N G_{ij}^{(p)} F(\phi) \quad (12)$$

For $i = 1, 2, \dots, N_\phi$ and $p = 1, 2, \dots, N_\phi - 1$,

here N_ϕ indicates the total number of discrete grid nodes selected through the solution domain.

The equation establishes a relationship between the p th derivative of the function F with respect to ϕ and the variable ϕ itself. This relation serves to demonstrate how the HDQM method approximates the derivatives of a function using a discrete set of values and their corresponding weights. By employing this approach, the HDQM method allows for the efficient and accu-

rate calculation of derivatives in numerical analysis and computational modeling. The term $G_{ij}^{(p)}$ shows the weight coefficients ($j=1, 2, \dots, N_\phi$) at the i th grid-point located in the solution domain. The weight coefficients related to the first-order derivatives $G_{ij}^{(1)}$ for $i \neq j$ would be determined through the following relation:

$$G_{ij}^{(1)} = \frac{\pi P(\phi_i)}{2P(\phi_j) \sin[(\phi_i - \phi_j)/2\pi]}, \quad i, j = 1, 2, \dots, N_\phi, \quad (13)$$

here

$$P(\phi_i) = - \sum_{j=1, j \neq i}^{N_\phi} \sin\left(\frac{\pi(\phi_i - \phi_j)}{2}\right), \quad (14)$$

for $j=1, 2, 3, \dots, N_\phi$.

The weight coefficients related to the first-order derivatives $G_{ij}^{(1)}$ when $i=j$ can be acquired as below

$$G_{ii}^{(1)} = - \sum_{j=1, j \neq i}^{N_\phi} G_{ij}^{(1)}, \quad (15)$$

for $i=1, 2, 3, \dots, N_\phi$.

The weight coefficients related to the second-order derivatives $G_{ij}^{(2)}$ when $i \neq j$ would be acquired through the subsequent relation

$$G_{ij}^{(2)} = G_{ij}^{(1)} \left(2G_{ij}^{(1)} - \pi \cot\left(\frac{\phi_i - \phi_j}{2} \times \pi\right) \right), \quad (16)$$

$i, j=1, 2, 3, \dots, N_\phi$.

The weight coefficients related to the second-order derivatives $G_{ii}^{(2)}$ when $i=j$ would be determined as

$$G_{ii}^{(2)} = - \sum_{j=1, j \neq i}^{N_\phi} G_{ij}^{(2)}, \quad (17)$$

for $i = 1, 2, 3, \dots, N_\phi$.

Also, the Chebyshev–Gauss–Lobatto grid distribution is chosen. In this distribution, the co-ordinates of grid points (ϕ_i, θ_j) are calculated by the flowing equation across the reference surface.

The displacement field expressions are given as below,

$$\begin{aligned}
 T_0(\phi, \theta, t) &= R_1(\phi, \theta, t) = \\
 c_0(\phi, \theta) \exp(iLt), & a_1(\phi, \theta) \exp(iLt), \\
 S_1(\phi, \theta, t) &= T_1(\phi, \theta, t) = \\
 b_1(\phi, \theta) \exp(iLt), & c_1(\phi, \theta) \exp(iLt), \\
 R_2(\phi, \theta, t) &= S_2(\phi, \theta, t) = \\
 a_2(\phi, \theta) \exp(iLt), & b_2(\phi, \theta) \exp(iLt), \\
 T_2(\phi, \theta, t) &= R_3(\phi, \theta, t) = \\
 c_2(\phi, \theta) \exp(iLt), & a_3(\phi, \theta) \exp(iLt), \\
 S_3(\phi, \theta, t) &= T_3(\phi, \theta, t) = \\
 b_3(\phi, \theta) \exp(iLt), & c_3(\phi, \theta) \exp(iLt), \\
 R_4(\phi, \theta, t) &= S_4(\phi, \theta, t) = \\
 a_4(\phi, \theta) \exp(iLt), & b_4(\phi, \theta) \exp(iLt), \\
 T_4(\phi, \theta, t) &= R_5(\phi, \theta, t) = \\
 c_4(\phi, \theta) \exp(iLt), & a_5(\phi, \theta) \exp(iLt), \\
 S_5(\phi, \theta, t) &= T_5(\phi, \theta, t) \\
 b_5(\phi, \theta) \exp(iLt), & = c_5(\phi, \theta) \exp(iLt).
 \end{aligned} \quad (18)$$

Using the above equations, the following linear set of equations are obtained:

$$\begin{aligned}
 & \left\{ \begin{bmatrix} [M_{dd}] & [M_{db}] \\ [M_{bd}] & [M_{bb}] \end{bmatrix} L^2 \right. \\
 & \left. + \begin{bmatrix} [K_{dd}] & [K_{db}] \\ [K_{bd}] & [K_{bb}] \end{bmatrix} \right\} \begin{Bmatrix} \Xi_d \\ \Xi_b \end{Bmatrix} = 0
 \end{aligned} \quad (19)$$

By solving Eq. (19), the natural frequency of the system can be achieved.

4. NUMERICAL RESULTS AND DISCUSSION

4.1. Materiel Properties

The material properties associated with GOPs reinforcement as well as concrete

matrix, and spherical vessel are presented in Table 1 adopted from Ref. (Z. Zhang et al., 2020).

Table 1. The properties of GOPs, polymer, and pressure vessel

Polymer epoxy(matrix)	Pressure vessel	GOPs
$v_m=0.42$	m_b (kg)=260	$v_{GOP}=0.165$
E_m (Mpa)=25	$\phi_i=10$ [deg]	ρ_{GOP} (kg/m ³)=1090
	$\phi_o=170$ [deg]	E_{GOP} (Gpa)=444.8
		d_{GOP} (nm)=500
		h_{GOP} (nm)=0.95

In addition the following dimensionless parameters are defined for natural frequency Ω and internal pressure $\bar{P}$:

$$\begin{aligned}
 \Omega &= \omega \frac{R^2}{h} \sqrt{\frac{\rho}{E}} \\
 \bar{P} &= \frac{P}{E_c}
 \end{aligned}$$

4.2. Validation

The new material and method presented in the current study need to be verified by comparing to the results of other studies in the similar structure and loading conditions. In this regard, the problem of vibrational behavior evaluation from Liu et al. (D. Liu, Zhou, & Zhu, 2021). The results are presented for two different parameter variation namely the mode number of vibration and the GOP distribution patterns. It is seen that the current method provides similar results to the selected reference which validate our methodology. On the other hand, different variation in pattern of GOP results in different natural frequency of pressure vessel shell structure which will be discussed in next sections in details along with several other parameters.

Table 2. Frequency parameter of the composite spherical shell

Mode number	Epoxy		GPL-UD		GPL-X		GPL-O	
	Ref. (D. Liu et al., 2021)	Present	Ref. (D. Liu et al., 2021)	Present	Ref. (D. Liu et al., 2021)	Present	Ref. (D. Liu et al., 2021)	Present
1	19.2432	19.2361	40.0892	40.0045	29.6019	29.5891	43.7133	43.6901
2	1.1613	1.1601	2.4194	2.4012	2.4203	2.4117	2.4196	2.4032
3	1.8362	1.8351	3.8253	3.8212	3.8263	3.8215	3.8251	3.8182
4	2.4635	2.4602	5.1322	5.1310	5.1324	5.1301	5.1309	5.1292

4.3. Parametric Study

This section examines the impact of different parameters and configurations on a nanocomposite shell of a pressure vessel. The number of layers within the nanocomposite structure plays a significant role in determining the natural frequency of the pressure vessel, as depicted in Figure 2. The figure illustrates that an increase in the number of layers, denoted as N_L , within the GOP-X configuration leads to a corresponding increase in the natural frequency of the structure, particularly for a low number of layers. However, for a higher number of layers ($N_L > 50$), an increase in the number of layers has minimal effect on the natural frequency, assuming all other parameters remain constant. In contrast, an increase in the number of layers in the GOP-O configuration has the opposite effect on the natural frequency of the pressure vessel structures. Specifically, as the number of layers in GOP-O increases, the natural frequency decreases. On the other hand, altering the number of layers in the uniform configuration does not have any influence on the natural frequency of the structure. Therefore, this analysis demonstrates the significant influence of the number of layers and different configurations on the natural frequency of nanocomposite shell structures, with distinct behaviors observed for different configurations.

Table 3. Effects of number of layers and distribution pattern of GOP on the dimensionless frequency of concrete pressure vessel

N_L	GOP-X	GOP-U	GOP-O
7	0.6309	0.6309	0.6310
9	0.6311	0.6309	0.6308
11	0.6312	0.6309	0.6307
13	0.6312	0.6309	0.6307
15	0.6312	0.6309	0.6307
25	0.6313	0.6309	0.6306
35	0.6313	0.6309	0.6306
55	0.6313	0.6309	0.6306
100	0.6313	0.6309	0.6306

The natural frequency of the shell is influenced by an increase in the thickness of the structure (h) in comparison to the radius of the pressure vessel (r), as illustrated in Figure 2. This analysis considers various weight fractions of GOP (W_{GOP}). The figure demonstrates that an increase in the thickness of the pressure vessel shell leads to a corresponding increase in the natural frequency of the structure, regardless of the weight fraction of GOP. This effect is expected, as increasing the thickness while keeping the radius constant results in a higher stiffness within the structure, ultimately raising its natural frequency. Furthermore, an increase in the weight fraction of GOP contributes to an increase in the stiffness of the structure, consequently

elevating the natural frequency. This relationship is consistent with the expectation that higher weight fractions of GOP enhance the overall stiffness of the nanocomposite shell. Therefore, both an increase in the thickness of the structure relative to the pressure vessel radius and an increase in the weight fraction of GOP lead to an increase in the natural frequency of the structure. These findings align with the anticipated effects of stiffness enhancement resulting from changes in the structural parameters and the incorporation of GOP within the nanocomposite shell.

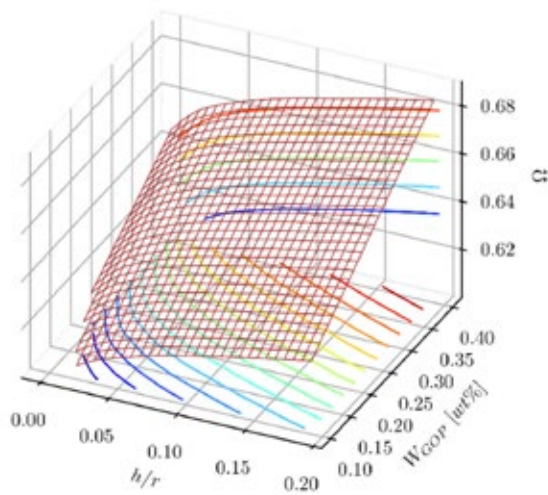


Figure 2. Effect of h/r aspect ratio and W_{GOP} on the natural frequency of pressure vessel

The natural frequency of the entire shell model is also influenced by the total mass of the spherical vessel, as shown in Figure 3 for various thicknesses. An increase in the mass of the pressure vessel, while keeping the geometrical parameters constant, corresponds to a decrease in the material density. This decrease in density results in a reduction in the natural frequency of the structure, as can be observed from the curves in Figure 4. Similarly, the effect of the h/r aspect ratio (the ratio of thickness to radius) on the natural frequency follows a similar trend to that depicted in Figure 2. As the h/r aspect ratio increases, there is a corresponding increase in the natural frequency of the shell structure.

Therefore, the total mass of the spherical vessel and the h/r aspect ratio play significant roles in determining the natural frequency of the entire shell model. Increasing the mass, which decreases the material density, results in a decrease in the natural frequency. Additionally, an increase in the h/r aspect ratio leads to an increase in the natural frequency, highlighting the influence of structural dimensions on the dynamic characteristics of the shell.

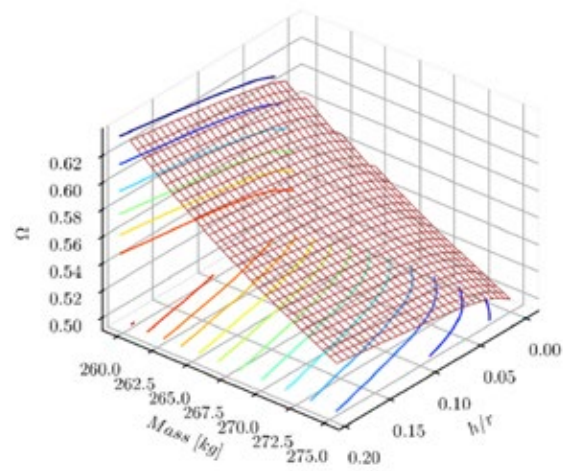


Figure 3. Effect of total mass of the pressure vessel m_b and h/r on the natural frequency of pressure vessel

An increase in the angle ϕ generally leads to a decrease in the natural frequency of the structure for all thickness values, as illustrated in Figure 4. However, the extent of this decrease varies depending on the specific thickness and the value of the angle ϕ . In cases with low angles, it is observed that the natural frequency experiences a more significant increase compared to other angle values. The gradient of increase in the natural frequency is higher for lower angle values. This implies that small changes in the angle ϕ at lower angles have a more pronounced effect on reducing the natural frequency of the structure. Conversely, as the angle ϕ increases, the decrease in the natural frequency becomes less pronounced. The influence of the angle ϕ on the natural frequency is still present, but the effect is relatively milder compared to lower angle values.

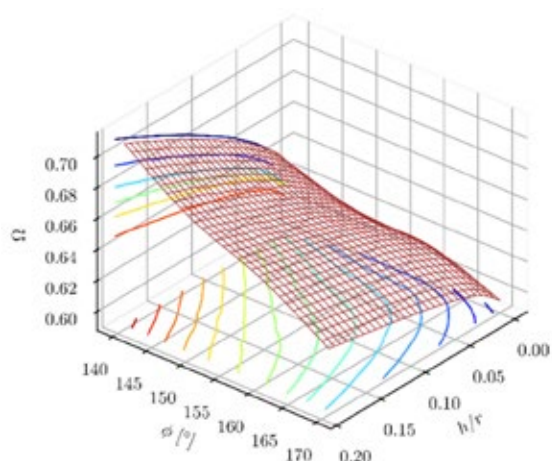


Figure 4. Effect of angle ϕ and h/r on the natural frequency of pressure vessel

The boundary condition plays a crucial role in determining the natural frequency of the structure, as shown in Table 4. By altering the boundary condition, the natural frequency of the structure varies across different values of the h/r (thickness to radius) ratio.

Among the different boundary conditions considered, the simply supported boundary condition results in the smallest natural frequency for a constant value of the h/r ratio. This indicates that the structure exhibits a lower frequency response when it is supported at the ends, allowing for some degree of freedom in terms of displacement.

On the other hand, the clamped boundary condition corresponds to the highest frequency values. This boundary condition restricts the structure from experiencing any displacement at the ends, leading to a higher stiffness and consequently a higher natural frequency.

These findings demonstrate that the state of the boundary condition is a determining factor in calculating the natural frequency of the structure. Different boundary conditions result in varying natural frequency values, with the simply supported condition yielding the lowest frequency and the clamped condition producing the highest frequency.

In the previous parametric studies, it was assumed that the internal pressure of the

pressure vessel is equal to the ambient pressure. However, in reality, the pressure inside the pressure vessel is positive. The variation in the internal pressure of the pressure vessel has a significant impact on the natural frequency of the structure, as illustrated in Figure 5.

Table 4. Effects of h/r and type of boundary condition on the dimensionless frequency of concrete pressure vessel

h/r	S-S	C-S	C-C
0	0.55942	0.57244	0.59619
0.05	0.57459	0.58809	0.61280
0.1	0.58263	0.59646	0.62015
0.15	0.58848	0.60291	0.62601
0.2	0.59315	0.60840	0.63128

The figure reveals that changing the parameter $\bar{P}$ from positive values to negative values substantially alters the behavior of the frequency curves. When the parameter $\bar{P}$ has positive or zero values, the natural frequency monotonically increases for all values of the h/r ratio. This implies that as the internal pressure increases, the natural frequency of the structure also increases.

However, in the case of negative values of parameter $\bar{P}$, the behavior of the natural frequency changes. For lower values of the h/r ratio, the natural frequency decreases as the h/r ratio increases. This implies that the internal pressure has a counterintuitive effect on the natural frequency for certain values of the h/r ratio.

In each value of parameter $\bar{P}$, there is a turning point in the curves where the natural frequency begins to rise. This indicates that there is a critical value of the h/r ratio at which the influence of the internal pressure on the natural frequency changes. Interestingly, all the curves converge and coincide at a high value of the h/r ratio. This suggests that at sufficiently large values of the h/r ratio, the influence of the internal pressure becomes negligible, and the natural frequency reaches a steady state. The vari-

ation in the internal pressure of the pressure vessel has a profound impact on the natural frequency of the structure. Positive and zero values of the internal pressure lead to a monotonic increase in the natural frequency, while negative values introduce complex behavior, with a turning point and counterintuitive effects for certain h/r ratios. The curves ultimately converge and coincide at high h/r ratios, indicating the diminishing influence of the internal pressure.

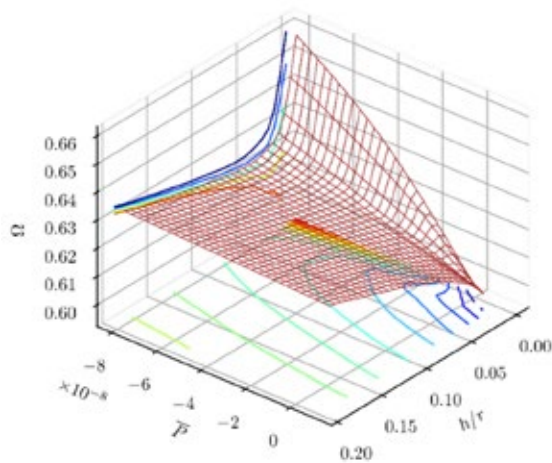


Figure 5. Effect of parameter P and h/r on the natural frequency of pressure vessel

Figure 6 illustrates the simultaneous effects of the h/r aspect ratio and the weight fraction of GOP on the natural frequency of the structure. Similar to Figure 2, an increase in both of these parameters leads to an increase in the natural frequency of the structure. However, one notable feature of the present graph is the semi-linear change in the natural frequency due to variations in the weight fraction of the GOP, which was not apparent from Figure 2.

The graph demonstrates that as the h/r aspect ratio increases, there is a corresponding increase in the natural frequency for various weight fractions of GOP. This relationship is consistent with the understanding that a larger h/r ratio results in a stiffer structure, leading to higher natural frequencies.

Furthermore, the weight fraction of the GOP has a distinct effect on the natural

frequency. In Figure 6, it is observed that as the weight fraction of GOP increases, the natural frequency also increases. However, unlike in Figure 2, where the relationship between weight fraction and natural frequency appeared to be linear, Figure 6 reveals a semi-linear change in the natural frequency. This suggests that the influence of the weight fraction of GOP on the natural frequency is more nuanced and exhibits a gradual change as the weight fraction varies.

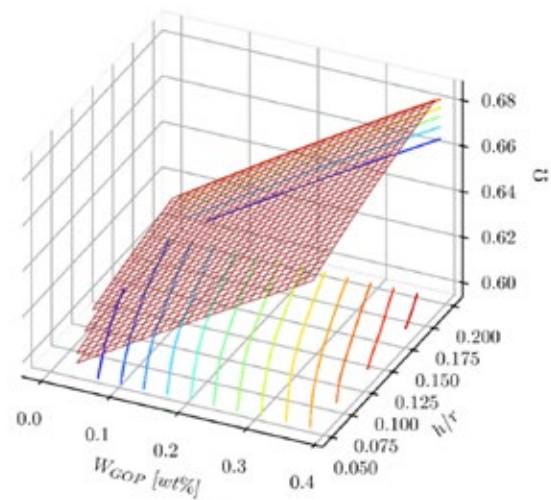


Figure 6. Effect of W_{GOP} and h/r on the natural frequency of pressure vessel

In Figure 7, the linear increase of the natural frequency with an increase in the weight fraction of GOP is observed, similar to the previous findings. This indicates that as the weight fraction of GOP increases, the natural frequency of the structure also increases in a linear fashion. Additionally, the effect of pressure vessel mass on the natural frequency is evident in Figure 7. Higher values of pressure vessel mass correspond to lower values of the natural frequency. This means that as the mass of the pressure vessel increases, the natural frequency of the structure decreases. The relationship between pressure vessel mass and natural frequency can be attributed to the increased inertia of the structure caused by the higher mass. The higher mass contributes to a greater resistance against displacement and thus results in a lower natural frequency.

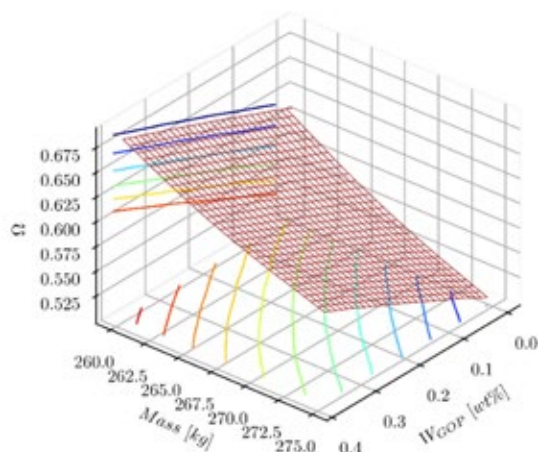


Figure 7. Effect of total mass of the pressure vessel m_b and W_{GOP} on the natural frequency of pressure vessel

Figure 8 illustrates the simultaneous effects of the angle ϕ and the weight fraction of GOP (Graphene Oxide Polymer) on the natural frequency of the structure. As observed in Figure 2, an increase in the weight fraction (W_{GOP}) leads to an increase in the natural frequency of the structure.

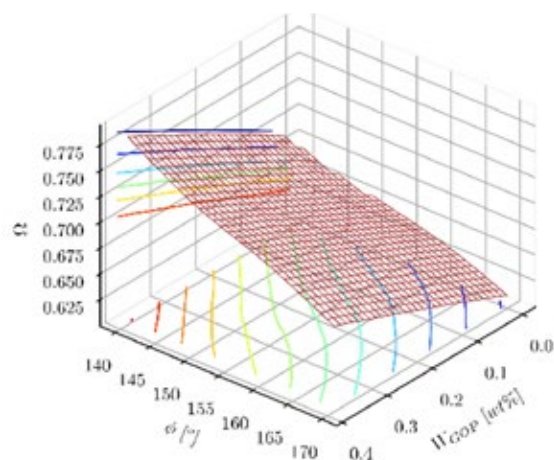


Figure 8. Effect of angle ϕ_0 and W_{GOP} on the natural frequency of pressure vessel

However, an important feature depicted in Figure 8 is the decrease in the natural frequency of the structure with an increase in the angle ϕ from 140° to 170° . This observation contrasts with the general trend seen in the previous figures. The decrease in the natural frequency with an increase in the angle ϕ suggests that certain angular configurations have a dampening effect on the dynamic response of the structure. This behavior may be attributed to

the specific geometry and material properties associated with the angle ϕ range of 140° to 170° . It is worth noting that this unique feature was not evident in Figure 2, indicating that the interaction between the angle ϕ and the weight fraction of GOP introduces additional complexities to the natural frequency response.

5. CONCLUSION

This paper presents a comprehensive investigation on the vibrations of spherical concrete pressure vessels reinforced by graphene oxide powders (GOPs) using a polynomial displacement field and the Generalized Differential Quadrature Method (GDQM). This research contributes to advancing the understanding of the vibrational behavior of graphene oxide-reinforced spherical concrete pressure vessels, particularly focusing on the influence of different distribution patterns of GOPs. The findings offer valuable insights for engineers and researchers involved in the design and analysis of pressure vessels, contributing to improved structural integrity and performance. The main results could be given in the following items:

- Firstly, it is observed that higher pressure vessel masses result in lower natural frequencies. This is due to the increased mass, which contributes to higher inertia and stiffness, thus reducing the natural frequency of the structure.
- Secondly, variations in the internal pressure of the pressure vessel have a significant influence on its natural frequency. Changes in internal pressure directly affect the structural dynamics, leading to variations in the natural frequency.
- Additionally, an increase in the thickness of the pressure vessel shell is found to cause an increase in the natural frequency. This is attributed to the higher stiffness resulting from

the thicker shell, leading to a higher natural frequency of vibration.

- Furthermore, the weight fraction of GOP demonstrates a linear relationship with the natural frequency. Increasing the weight fraction proportionally increases the natural frequency, indicating that the addition of GOP enhances the overall stiffness and dynamic characteristics of the pressure vessel.

6. REFERENCES

- Al-Furjan, M. S. H., Habibi, M., Jung, D. w., Sadeghi, S., Safarpour, H., Tounsi, A., & Chen, G. (2022). A computational framework for propagated waves in a sandwich doubly curved nanocomposite panel. *Engineering with Computers*, 38(2), 1679-1696. doi:<https://doi.org/10.1007/s00366-020-01130-8>
- Al-Furjan, M. S. H., Oyarhossein, M. A., Habibi, M., Safarpour, H., & Jung, D. W. (2020). Wave propagation simulation in an electrically open shell reinforced with multi-phase nanocomposites. *Engineering with Computers*. doi:<https://doi.org/10.1007/s00366-020-01167-9>
- Chen, Y. Z., & Lin, X. Y. (2008). Elastic analysis for thick cylinders and spherical pressure vessels made of functionally graded materials. *Computational Materials Science*, 44(2), 581-587. doi:<https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2008.04.018>
- Cong, S., Cheng, Z., Tang, L., & Ling, X. (2023). Fatigue properties and microstructure of graphene oxide/microcapsule self-healing concrete. *Journal of Building Engineering*, 70, 106264. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106264>
- Dai, Z., Jiang, Z., Zhang, L., & Habibi, M. (2021). Frequency characteristics and sensitivity analysis of a size-dependent laminated nanoshell. *Advances in nano research*, 10(2), 175. doi:<https://doi.org/10.12989/anr.2021.10.2.175>
- Dong, Q., Li, Q. M., & Zheng, J. Y. (2010). Interactive mechanisms between the internal blast loading and the dynamic elastic response of spherical containment vessels. *International Journal of Impact Engineering*, 37(4), 349-358. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2009.10.004>
- Ebrahimi, F., Hajilak, Z. E., Habibi, M., & Safarpour, H. (2019). Buckling and vibration characteristics of a carbon nanotube-reinforced spinning cantilever cylindrical 3D shell conveying viscous fluid flow and carrying spring-mass systems under various temperature distributions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 233(13), 4590-4605. doi:<https://doi.org/10.1177/0954406219832323>
- Ebrahimi, F., Mohammadi, K., Barouti, M. M., & Habibi, M. (2019). Wave propagation analysis of a spinning porous graphene nanoplatelet-reinforced nanoshell. *Waves in Random and Complex Media*, 1-27. doi:<https://doi.org/10.1080/17455030.2019.1694729>
- Ebrahimi, F., Supeni, E. E. B., Habibi, M., & Safarpour, H. (2020). Frequency characteristics of a GPL-reinforced composite microdisk coupled with a piezoelectric layer. *The European Physical Journal Plus*, 135(2), 144. doi:<https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-020-00217-x>
- Ghavanloo, E., Rafii-Tabar, H., & Fazelzadeh, S. A. (2019). New insights on nonlocal spherical shell model and its application to free vibration of spherical fullerene molecules. *International Journal of Mechanical Sciences*, 161-162, 105046. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2019.105046>
- Godoy, L. A. (1987). A simplified bending analysis of imperfect spherical pressure vessels. *International Journal of Pres-*

sure Vessels and Piping, 27(5), 385-399. doi:[https://doi.org/10.1016/0308-0161\(87\)90059-7](https://doi.org/10.1016/0308-0161(87)90059-7)

Guo, J., Baharvand, A., Tazeddinova, D., Habibi, M., Safarpour, H., Roco-Videla, A., & Selmi, A. (2021). An intelligent computer method for vibration responses of the spinning multi-layer symmetric nanosystem using multi-physics modeling. *Engineering with Computers*, 1-22. doi:<https://doi.org/10.1007/s00366-021-01433-4>

Habibi, M., Mohammadi, A., Safarpour, H., Shavalipour, A., & Ghadiri, M. (2021). Wave propagation analysis of the laminated cylindrical nanoshell coupled with a piezoelectric actuator. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 49(5), 640-658.

Habibi, M., Safarpour, M., & Safarpour, H. (2020). Vibrational characteristics of a FG-GPLRC viscoelastic thick annular plate using fourth-order Runge-Kutta and GDQ methods. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 1-22. doi:<https://doi.org/10.1080/15397734.2020.1779086>

Hamed, E., Bradford, M. A., & Ian Gilbert, R. (2010). Nonlinear long-term behaviour of spherical shallow thin-walled concrete shells of revolution. *International Journal of Solids and Structures*, 47(2), 204-215. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2009.09.027>

Hashemi, H. R., Alizadeh, A. a., Oyarhossein, M. A., Shavalipour, A., Makkiabadi, M., & Habibi, M. (2019). Influence of imperfection on amplitude and resonance frequency of a reinforcement compositionally graded nanostructure. *Waves in Random and Complex Media*, 1-27. doi:<https://doi.org/10.1080/17455030.2019.1662968>

Hutchinson, J. W. (2016). Buckling of spherical shells revisited. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 472(2195), 20160577.

doi:<https://doi.org/10.1098/rspa.2016.0577>

Hwangbo, D., Son, D.-H., Suh, H., Sung, J., Bae, B.-I., Bae, S., Choi, C.-S. (2023). Effect of nanomaterials (carbon nanotubes, nanosilica, graphene oxide) on bond behavior between concrete and reinforcing bars. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e02206. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02206>

Jaramillo, L. J., & Kalfat, R. (2023). Fresh and hardened performance of concrete enhanced with graphene nanoplatelets (GNPs). *Journal of Building Engineering*, 75, 106945. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106945>

Kong, F., Dong, F., Duan, M., Habibi, M., Safarpour, H., & Tounsi, A. (2022). On the vibrations of the Electrorheological sandwich disk with composite face sheets considering pre and post-yield regions. *Thin-Walled Structures*, 179, 109631. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tws.2022.109631>

Lee, H.-S., Yoon, J.-H., Park, J.-S., & Yi, Y.-M. (2005). A study on failure characteristic of spherical pressure vessel. *Journal of Materials Processing Technology*, 164-165, 882-888. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.02.208>

Liu, D., Zhou, Y., & Zhu, J. (2021). On the free vibration and bending analysis of functionally graded nanocomposite spherical shells reinforced with graphene nanoplatelets: Three-dimensional elasticity solutions. *Engineering Structures*, 226, 111376. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111376>

Liu, Z., Su, S., Xi, D., & Habibi, M. (2020). Vibrational responses of a MHC viscoelastic thick annular plate in thermal environment using GDQ method. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, 1-26. doi:<https://doi.org/10.1080/15397734.2020.1784201>

Lu, L., Liao, K., Habibi, M., Safarpour, H., & Ali, H. E. (2023). *Numerical methods to predict aero thermally induced vibrations of a curved pipe structure reinforced by GPLs*. Paper presented at the Structures.

Lu, S., Li, S., Habibi, M., & Safarpour, H. (2023). Improving the thermo-electro-mechanical responses of MEMS resonant accelerometers via a novel multi-layer perceptron neural network. *Measurement*, 113168. doi:<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.113168>

Ma, B., Chen, K.-y., Habibi, M., & Albaijan, I. (2023). Static/dynamic analyses of sandwich micro-plate based on modified strain gradient theory. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 1-8. doi:<https://doi.org/10.1080/15376494.2023.2219453>

Mahapatra, T. R., Kar, V. R., & Panda, S. K. (2015). Large Amplitude Vibration Analysis of Laminated Composite Spherical Panels Under Hygrothermal Environment. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 16(03), 1450105. doi:<https://doi.org/10.1142/S0219455414501053>

Moayed, H., Aliakbarlou, H., Jebeli, M., Noormohammadiarani, O., Habibi, M., Safarpour, H., & Foong, L. (2020). Thermal buckling responses of a graphene reinforced composite micropanel structure. *International Journal of Applied Mechanics*, 12(01), 2050010. doi:<https://doi.org/10.1142/S1758825120500106>

Moayed, H., Aliakbarlou, H., Jebeli, M., Noormohammadiarani, O., Habibi, M., Safarpour, H., & Foong, L. K. (2020). Thermal Buckling Responses of a Graphene Reinforced Composite Micropanel Structure. *International Journal of Applied Mechanics*, 12(01), 2050010. doi:<https://doi.org/10.1142/S1758825120500106>

Moayed, H., Ebrahimi, F., Habibi, M., Safarpour, H., & Foong, L. K. (2020). Application of nonlocal strain-stress gradient theory and GDQEM for thermo-vibra-

tion responses of a laminated composite nanoshell. *Engineering with Computers*, 1-16. doi:<https://doi.org/10.1007/s00366-020-01002-1>

Moayed, H., Habibi, M., Safarpour, H., Safarpour, M., & Foong, L. (2019). Buckling and frequency responses of a graphene nanoplatelet reinforced composite microdisk. *International Journal of Applied Mechanics*, 11(10), 1950102. doi:<https://doi.org/10.1142/S1758825119501023>

Mohammadgholiha, M., Shokrgozar, A., Habibi, M., & Safarpour, H. (2019). Buckling and frequency analysis of the nonlocal strain-stress gradient shell reinforced with graphene nanoplatelets. *Journal of Vibration and Control*, 25(19-20), 2627-2640. doi:<https://doi.org/10.1177/1077546319863251>

Mohammadi, A., Lashini, H., Habibi, M., & Safarpour, H. (2019). Influence of viscoelastic foundation on dynamic behaviour of the double walled cylindrical inhomogeneous micro shell using MCST and with the aid of GDQM. *Journal of Solid Mechanics*, 11(2), 440-453. doi:10.22034/JSM.2019.665264

Oyarhossein, M. A., Alizadeh, A. a., Habibi, M., Makkiabadi, M., Daman, M., Safarpour, H., & Jung, D. W. (2020). Dynamic response of the nonlocal strain-stress gradient in laminated polymer composites microtubes. *Scientific reports*, 10(1), 1-19. doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-020-61855-w>

Pan, B., & Cui, W. (2010). An overview of buckling and ultimate strength of spherical pressure hull under external pressure. *Marine Structures*, 23(3), 227-240. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2010.07.005>

Pang, F., Li, H., Chen, H., & Shan, Y. (2021). Free vibration analysis of combined composite laminated cylindrical and spherical shells with arbitrary boundary conditions. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*

tures, 28(2), 182-199. doi:<https://doi.org/10.1080/15376494.2018.1553258>

Sajjad, U., Sheikh, M. N., & Hadi, M. N. S. (2022). Incorporation of graphene in slag-fly ash-based alkali-activated concrete. *Construction and Building Materials*, 322, 126417. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126417>

Shahpari, M., Bamonte, P., & Jalali Mossallam, S. (2022). An experimental study on mechanical and thermal properties of structural lightweight concrete using carbon nanotubes (CNTs) and LECA aggregates after exposure to elevated temperature. *Construction and Building Materials*, 346, 128376. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128376>

Shao, Y., Zhao, Y., Gao, J., & Habibi, M. (2021). Energy absorption of the strengthened viscoelastic multi-curved composite panel under friction force. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 21(4), 1-29. doi:<https://doi.org/10.1007/s43452-021-00279-3>

Shariati, A., Habibi, M., Tounsi, A., Safarpour, H., & Safa, M. (2020). Application of exact continuum size-dependent theory for stability and frequency analysis of a curved cantilevered microtubule by considering viscoelastic properties. *Engineering with Computers*, 1-20. doi:<https://doi.org/10.1007/s00366-020-01024-9>

Shariati, A., Mohammad-Sedighi, H., Żur, K. K., Habibi, M., & Safa, M. (2020). On the vibrations and stability of moving viscoelastic axially functionally graded nanobeams. *Materials*, 13(7), 1707. doi:<https://doi.org/10.3390/ma13071707>

Shokrgozar, A., Safarpour, H., & Habibi, M. (2020). Influence of system parameters on buckling and frequency analysis of a spinning cantilever cylindrical 3D shell coupled with piezoelectric actuator. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Sci-*

ence, 234(2), 512-529. doi:<https://doi.org/10.1177/0954406219883312>

Siahkouhi, M., Razaqpur, G., Hoult, N. A., Hajmohammadian Baghban, M., & Jing, G. (2021). Utilization of carbon nanotubes (CNTs) in concrete for structural health monitoring (SHM) purposes: A review. *Construction and Building Materials*, 309, 125137. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125137>

Tang, J., Wu, S., Habibi, M., Safarpour, M., & Ali, H. E. (2023). Flutter analysis of multi-directional functionally graded sector poroelastic disks. *Aerospace Science and Technology*, 140, 108481. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ast.2023.108481>

Van Do, V. N., & Lee, C.-H. (2020). Static bending and free vibration analysis of multilayered composite cylindrical and spherical panels reinforced with graphene platelets by using isogeometric analysis method. *Engineering Structures*, 215, 110682. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110682>

Wang, Y., Jia, Q., Deng, T., Habibi, M., Al-Kikani, S., & Ali, H. E. (2023). Wave propagation analysis of the ball in the handball's game. *Structural Engineering and Mechanics*, 85(6), 729-742.

Wang, Z., Yu, S., Xiao, Z., & Habibi, M. (2020). Frequency and buckling responses of a high-speed rotating fiber metal laminated cantilevered microdisk. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 1-14. doi:<https://doi.org/10.1080/15376494.2020.1824284>

Wu, J., & Habibi, M. (2021). Dynamic simulation of the ultra-fast-rotating sandwich cantilever disk via finite element and semi-numerical methods. *Engineering with Computers*, 1-17. doi:<https://doi.org/10.1007/s00366-021-01396-6>

Yan, C., Wang, Y., Zhai, X., Meng, L., & Zhou, H. (2019). Experimental study on curved steel-concrete-steel sandwich

shells under concentrated load by a hemispherical head. *Thin-Walled Structures*, 137, 117-128. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.01.007>

Yue, H., Hua, S., Qian, H., Yao, X., Gao, Y., & Jiang, F. (2022). Investigation on applicability of spherical electric arc furnace slag as fine aggregate in superplasticizer-free 3D printed concrete. *Construction and Building Materials*, 319, 126104. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126104>

Zeng, H., Qu, S., Tian, Y., Hu, Y., & Li, Y. (2023). Recent progress on graphene oxide for next-generation concrete: Characterizations, applications and challenges. *Journal of Building Engineering*, 69, 106192. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106192>

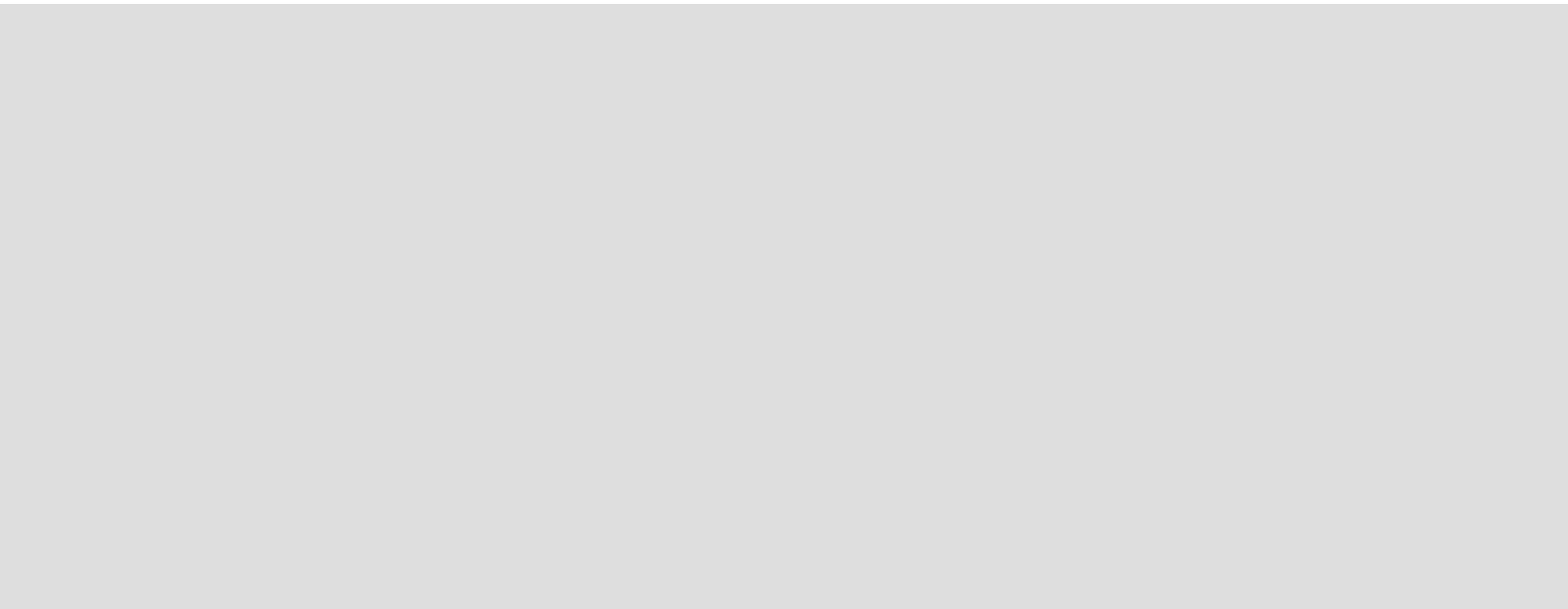
Zhang, J., Zhang, M., Cui, W., Tang, W., Wang, F., & Pan, B. (2018). Elastic-plastic buckling of deep sea spheri-

cal pressure hulls. *Marine Structures*, 57, 38-51. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2017.09.007>

Zhang, Z., Li, Y., Wu, H., Zhang, H., Wu, H., Jiang, S., & Chai, G. (2020). Mechanical analysis of functionally graded graphene oxide-reinforced composite beams based on the first-order shear deformation theory. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 27(1), 3-11. doi:<https://doi.org/10.1080/15376494.2018.1444216>

Zhou, C., Zhao, Y., Zhang, J., Fang, Y., & Habibi, M. (2020). Vibrational characteristics of multi-phase nanocomposite reinforced circular/annular system. *Advances in nano research*, 9(4), 295-307. doi:<https://doi.org/10.12989/anr.2020.9.4.295>

Zingoni, A. (2022). Stress and buckling resistance of dual-purpose concrete shells. *Thin-Walled Structures*, 170, 108596. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tws.2021.108596>



Diseño Gráfico Automatizado: Un Análisis Crítico detrás de la Inteligencia Artificial

Automated graphic design: A Critical Analysis behind Artificial Intelligence

EÍDOS N°24
Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo
ISSN: 1390-5007
revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos

¹Fausto Daniel Santos Tapia

¹Universidad UTE, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Departamento de Diseño Gráfico, Calle Rumipamba S/N y Bourgeois, Quito, Ecuador. stfd1027072@ute.edu.ec. ORCID: 0009-0004-4309-0023

Resumen:

En la era digital actual, el diseño gráfico automatizado se ha convertido en una fuerza disruptiva que desafía las concepciones tradicionales sobre la creatividad y la producción visual. Este fenómeno, impulsado por los avances en inteligencia artificial (IA), ha generado una mezcla de entusiasmo y aprensión dentro de amplios ámbitos. De ahí la necesidad de investigar y analizar de manera crítica los mitos y realidades detrás del diseño gráfico y su relación con la incorporación de la inteligencia artificial. Se explora su impacto, alcance y limitaciones.

El objetivo de esta investigación es profundizar en el uso de la inteligencia artificial dentro del diseño, desde una perspectiva crítica, que se centra en los fundamentos de la inteligencia artificial que lo respaldan. Se examinará cómo los algoritmos de IA han transformado el proceso de diseño, facilitando el acceso a herramientas y recursos creativos, pero también con cuestionamientos sobre la autenticidad, originalidad y ética en la práctica del diseño.

El propósito de desmitificar el diseño gráfico “inteligente” es promover un diálogo informado y reflexivo sobre el papel de la inteligencia artificial en la creatividad del diseñador. Para alcanzar estos resultados, se ha empleado una metodología cualitativa, la cual posibilita, mediante el análisis de piezas o imágenes generadas por IA, obtener una perspectiva sobre cómo estos elementos contribuyen al diseño gráfico. Esta investigación proporciona una base sólida para comprender y desarrollar prácticas de diseño innovadoras y sostenibles en un mundo cada vez más digitalizado y automatizado. Además, el diseño gráfico y su incorporación con las inteligencias artificiales, ofrecen una serie de beneficios, como la mejora de la eficiencia y la productividad; a más de plantear desafíos significativos en términos éticos y de responsabilidad.

Palabras claves: Diseño gráfico, análisis, inteligencia artificial, automatización, producción, creatividad.

Abstract:

In today's digital age, automated graphic design has become a disruptive force that challenges traditional conceptions of creativity and visual production. This phenomenon, driven by advances in artificial intelligence (AI), has generated a mix of excitement and apprehension within the field of graphic design as well as in broader areas. This debate has given rise to the need to research and critically analyze the myths and realities behind automated graphic design, exploring its impact, scope and limitations.

The objective of this research is to delve into automated graphic design from a critical perspective, focusing on the fundamentals of artificial intelligence that support it. It will examine how AI algorithms have transformed the design process, facilitating access to creative tools and resources, but also raising questions about authenticity, originality and ethics in design practice.

The purpose of demystifying automated graphic design is to promote an informed and thoughtful dialogue about the role of artificial intelligence in designer creativity. To achieve these results, a qualitative methodology has been used. This methodology makes it possible, through the analysis of pieces or images generated by AI, to obtain a perspective on how these graphic elements contribute to automated graphic design. It is anticipated that this research will provide a solid foundation for understanding and developing innovative and sustainable design practices in an increasingly digitalized and automated world, also addressing ethical issues. Thus, automated graphic design offers a number of benefits, such as improved efficiency and productivity, it also poses significant challenges in terms of ethics and responsibility.

Keywords: *Graphic design, Analysis, Artificial intelligence, Automation, Production, creativity..*

1. INTRODUCCIÓN

En la era digital contemporánea, el diseño gráfico automatizado ha emergido como una fuerza disruptiva que desafía las nociones tradicionales de creatividad y producción visual. Este fenómeno, va impulsado por grandes avances en inteligencia artificial (IA), como mencionan Ocaña-Fernández et al. (2019): "La inteligencia artificial es un tema amplio que influye de manera significativa en diversas tendencias actuales." (p. 538). La inteligencia artificial ha generado tanto entusiasmo como preocupación en la comunidad creativa y en otros ámbitos. En este contexto, es necesario analizar de manera crítica los mitos que rodean este tema complejo y evaluar su impacto, alcance y limitaciones.

Esta investigación busca explorar y desmitificar la implementación de la inteligencia artificial en el diseño gráfico. Se analizan los elementos fundamentales que la sostienen, examinando cómo los algoritmos han transformado el proceso de diseño. En particular, se evaluará cómo estos avances han integrado herramientas y recursos creativos, planteando también interrogantes sobre la autenticidad, originalidad y ética en la práctica del diseño.

A través de un estudio detallado, se pretende arrojar luz sobre los diferentes enfoques y aplicaciones del diseño gráfico, desde la generación de contenido visual hasta la personalización y optimización de las experiencias del usuario. Se exploran casos de estudio relevantes y se evalúan las implicaciones culturales, sociales y económicas, considerando tanto los beneficios potenciales como los posibles riesgos y desafíos.

Al desmitificar el diseño gráfico automatizado, esta investigación busca fomentar un diálogo informado y reflexivo sobre el papel de la inteligencia artificial en la creatividad del diseñador. Al hacerlo, se aspira a proporcionar una base sólida para la comprensión y el desarrollo ético de prácticas de diseño innovadoras y sostenibles, en un mundo cada vez más digitalizado y automatizado.

2. INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA) Y SU IMPACTO EN EL DISEÑO GRÁFICO

Los avances en inteligencia artificial han llevado al desarrollo de algoritmos sofisticados, capaces de generar imágenes de alta calidad de forma casi inmediata. Estos algoritmos pueden procesar una amplia

variedad de datos y parámetros proporcionados por el diseñador, que van desde descripciones textuales hasta muestras visuales de referencia. Con técnicas de aprendizaje profundo, los algoritmos pueden comprender y sintetizar patrones complejos presentes en los datos de entrada, permitiendo la creación de contenido visual con un nivel de detalle y realismo impresionante. Partimos de la definición de inteligencia artificial (IA), como la “habilidad de las máquinas para emplear algoritmos, adquirir conocimiento a partir de los datos y aplicar ese aprendizaje en la toma de decisiones de manera similar a como lo haría un humano” (Rouhiainen, 2018, p. 17).

La capacidad de los algoritmos de inteligencia artificial para generar contenido visual de alta calidad tiene un impacto considerable en la producción gráfica contemporánea. Tal capacidad permite

una producción ágil y adaptable de contenido visual, para una amplia variedad de plataformas y propósitos. Los diseñadores pueden crear rápidamente imágenes y gráficos personalizados para campañas publicitarias, sitios web, redes sociales, impresiones y otros medios, adaptándose a las necesidades del proyecto.

Sin embargo, es importante reconocer que, aunque la IA ofrece ventajas significativas, su implementación no está exenta de desafíos. En muchos casos, puede presentar fallos en sus representaciones, como proporciones anatómicas incorrectas o elementos que se desvían de la realidad. Por lo tanto, es imperativo que los diseñadores tengan un conocimiento previo sólido para supervisar y corregir estos errores potenciales, asegurando así que las representaciones digitales no perpetúen ni amplifiquen estereotipos o prejuicios.



Figura 1. *El diseñador en espacios digitales con IA – Digital ART + Ideogram.*
Fuente: D. Santos

Este panorama resalta la importancia de mantener el control y la capacidad de adaptación frente a las nuevas formas de trabajar que ofrece la IA. Los diseñadores deben estar preparados para intervenir cuando sea necesario, aprovechando las herramientas de IA como una ayuda valiosa, en lugar de depender exclusivamente de ellas.

Según Rico Sesé (2020):

La IA está cambiando día a día de forma drástica la naturaleza de los procesos creativos. Independientemente de si es percibido como positivo o negativo, la llegada de la inteligencia artificial implicará que los diseñadores ya no serán los únicos poseedores de la creatividad. En consecuencia, tendrán que ajustarse y adaptarse a nuevos métodos de trabajo y circunstancias. (p.68).

Este cambio, independientemente de cómo se perciba, marca un hito en el paradigma tradicional del diseño, donde los diseñadores solían ser los únicos catalizadores de la creatividad. La llegada de la inteligencia artificial implica un desplazamiento de ese papel exclusivo hacia una colaboración más estrecha entre la mente humana y la capacidad algorítmica. Esto desafía la noción arraigada de la creatividad como un atributo inherentemente humano y demanda una reevaluación profunda de los métodos de trabajo.

La producción rápida y escalable de contenido visual impulsada por los algoritmos de inteligencia artificial, representa un avance en el ámbito del diseño gráfico, también plantea desafíos y preocupaciones importantes. Una de las problemáticas es la sobreproducción de material gráfico, que en demasiados casos carece de un pensamiento crítico. La sobreabundancia de contenido puede inundar los canales de comunicación visual, diluyendo la calidad y el impacto de los mensajes que se intenta transmitir.

A pesar de las promesas de estas nuevas tecnologías para la creatividad y la innovación en el diseño, es fundamental recono-

cer que la producción masiva y automatizada de contenido visual, puede llevar a una disminución en la calidad y la originalidad del diseño. La facilidad con la que los algoritmos de IA generan imágenes y gráficos, tendería a fomentar una mentalidad de "copia y pega", donde la creatividad y el pensamiento crítico serían relegados en favor de la conveniencia y la rapidez.

Además, la amplia disponibilidad de herramientas de IA accesibles, podría crear una falsa sensación de control entre los diseñadores. La disponibilidad generalizada de algoritmos de IA de libre acceso llevaría a la percepción errónea, de que la tecnología puede reemplazar por completo el juicio humano y la experiencia en el proceso de diseño. Sin embargo, es esencial recordar que la inteligencia artificial es solo una herramienta, y el juicio humano sigue siendo fundamental para tomar decisiones informadas y creativas en el diseño.

Incluso, considerando las facilidades técnicas de representación que otorgan las herramientas tecnológicas con la inclusión de la IA, el diseñador es quien hace un análisis racional de la acción propuesta y quien puede articular verbalmente, la situación problemática de comunicación visual que se intenta resolver (Frascara, 2004).

Aunque los diseñadores gráficos exploran una amplia variedad de opciones y variaciones de diseño con relativa facilidad, esta libertad creativa se fundamenta en una sólida base teórica y crítica adquirida a través de un estudio exhaustivo previo. Tal capacitación proporciona habilidades técnicas y fomenta una comprensión profunda de los principios fundamentales del diseño, como la composición, la tipografía y el uso del color.

El enfoque exhaustivo empodera a los diseñadores para abordar cada proyecto con una perspectiva clara y bien fundamentada, lo que se traduce en una creación de contenido visual más dinámica y adaptable, sin sacrificar la coherencia y la funcionalidad inherentes. Al entender diversos

conceptos y tendencias, los diseñadores no solo que se mantendrán al día con las demandas cambiantes del mercado, sino que estarán equipados para innovar y adaptarse a las necesidades específicas de cada cliente o proyecto. La capacidad de adaptación garantiza la relevancia y la efectividad del diseño en un entorno caracterizado por su constante evolución.

Es indispensable subrayar que en la era del diseño asistido por inteligencia artificial (IA), es imperativo reconocer tanto las oportunidades como los desafíos que esta tecnología presenta. Si bien la IA ofrece herramientas poderosas para automatizar tareas repetitivas y generar una amplia gama de diseños de manera eficiente, su aplicación sin una comprensión profunda de los principios de diseño conlleva el riesgo de producir resultados superficiales y carentes de significado. Por lo tanto, los diseñadores deben ejercer un juicio crítico y ético al integrar la IA en su práctica, asegurándose de que esta se utilice de manera que mejore y enriquezca su trabajo, en lugar de limitarlo o trivializarlo.

La influencia de la inteligencia artificial (IA) en las rutinas de trabajo de los diseñadores en el campo del diseño gráfico se extiende más allá de la mera automatización de tareas rutinarias. La capacidad de los algoritmos de IA para realizar acciones como la generación de diseños simples, la optimización de imágenes y la organización de archivos, ha provocado una transformación fundamental en la dinámica laboral de los diseñadores. Así pues, si bien la inteligencia artificial ha aumentado la eficiencia en la ejecución de tareas, los algoritmos pueden generar diseños básicos de manera rápida y precisa, lo que permite a los diseñadores abordar un mayor volumen de trabajo en menos tiempo. Además, la optimización de imágenes mediante IA garantiza que los recursos visuales utilizados en proyectos de diseño sean de la más alta calidad, sin la necesidad de un ajuste manual exhaustivo. Esto acelera el proceso de diseño y mejora la coherencia visual y la calidad del producto final.

Sin embargo, a pesar de estas ventajas, la incorporación de la inteligencia artificial en el diseño gráfico presenta desafíos específicos. Los diseñadores deben aprender a colaborar con los algoritmos, aprovechando su capacidad para aumentar la eficiencia sin dejar a un lado la creatividad humana. De ahí que la rápida evolución de esta tecnología exige que los diseñadores se mantengan actualizados sobre las últimas tendencias y herramientas disponibles.

La generación automatizada de diseños, al ampliar las posibilidades creativas de los diseñadores, permite que con la inteligencia artificial se pueda con rapidez atender las preferencias del cliente, lo cual agiliza el proceso creativo y libera a los diseñadores de la necesidad de crear cada diseño desde cero, permitiéndoles enfocarse en aspectos más estratégicos y conceptuales de un proyecto. Como menciona Rico Sesé (2020), “es importante que los diseñadores piensen en la IA como otro recurso más en su caja de herramientas, un material para ser utilizado de manera responsable y ética” (p.69). Desde esta perspectiva, resulta vital que los diseñadores adopten una actitud proactiva hacia la inteligencia artificial (IA), al incorporarla en su quehacer profesional y considerar tanto los valores éticos como los profesionales. En lugar de percibir la IA como una amenaza o una competencia para su creatividad, es fundamental que la contemplen como un recurso valioso adicional. Al abordar la IA de esta manera, los diseñadores pueden aprovechar su potencial y enriquecer su proceso creativo.

Como sucede con cualquier herramienta, es esencial que los diseñadores empleen la inteligencia artificial de forma responsable. Esto requiere una comprensión profunda de las implicaciones éticas y sociales de su uso, así como una reflexión cuidadosa sobre cómo la IA influye en diversas audiencias y comunidades. Vale, por tanto, tener en cuenta aspectos como la protección de datos, la equidad en los algoritmos y las implicaciones laborales, y tomar medidas para identificar posibles riesgos.

De esta manera, al integrar la IA en la práctica del diseño de manera consciente y reflexiva, los diseñadores van a mejorar la eficiencia, la creatividad y la innovación en su trabajo. Al mismo tiempo, al abordar los desafíos éticos y sociales asociados con el uso de la (IA), contribuyen a un futuro en el que la tecnología se utilice de manera responsable y equitativa para el beneficio de todos. Es necesario señalar que, la gran mayoría de la población mundial, se encuentra en una situación desfavorable en cuanto a conocimiento y acceso a las tecnologías de inteligencia artificial. Existe un notable desconocimiento sobre los posibles impactos y, por lo tanto, los riesgos a los que podrían enfrentarse frente a este avance imparable, que se desarrolla a un ritmo cada vez más rápido. (Miall & Lannquist, 2018).

Así, la rápida proliferación de la IA, requiere de una atención cuidadosa y una comprensión profunda, desde la equidad en el acceso hasta la responsabilidad en el uso de los datos, dado que la sociedad se enfrenta a nuevos dilemas que necesitan ser abordados de manera urgente y reflexiva.

3. DISEÑO GRÁFICO AUTOMATIZADO

El diseño gráfico automatizado, impulsado por la inteligencia artificial (IA), ha emergido como una revolución en la industria del diseño gráfico. Este enfoque innovador aprovecha algoritmos avanzados de aprendizaje automático y redes neuronales para automatizar una variedad de tareas dentro del proceso creativo, desde la generación de diseños hasta la optimización de recursos visuales en cortos lapsos de tiempo. Como menciona Rodríguez (2024), "la evolución del lenguaje y la invención de las nuevas herramientas de representación, ocasionaron que poco a poco se generaran distintos estilos visuales y se utilizaran medios alternativos de comunicación" (p. 10).

Una de las áreas clave donde el diseño gráfico impulsado por Inteligencias Artifi-

ciales ha tenido un impacto notable es en la generación de imágenes, que se adaptan a las necesidades específicas de cada cliente o proyecto. Utilizando datos sobre preferencias de los usuarios, tendencias de diseño y otros factores relevantes, los algoritmos de IA pueden crear rápidamente una variedad de opciones. La capacidad de personalización no solo agiliza el proceso de diseño, sino también permite tener un gran abanico de posibilidades que van desde la creación de imágenes hasta la animación de las mismas. En otras palabras, las inteligencias artificiales (IA) en los procesos de personalización han revolucionado la forma en que los diseñadores abordan sus proyectos, lo cual va más allá de simplemente acelerar el proceso de diseño, ya que implica una adaptación dinámica a necesidades y preferencias específicas. Por ejemplo, los algoritmos de IA pueden analizar los datos demográficos y el comportamiento del usuario para generar diseños únicos y adaptados a cada audiencia objetivo. Esto significa que los diseñadores ya no están limitados por plantillas predefinidas o estilos estándar; ahora tienen la capacidad de crear soluciones visuales altamente personalizadas y relevantes. Nos encontramos con constantes cambios mediante diversas herramientas, para una amplia gama de dispositivos, lo cual plantea desafíos para el diseño. (Slade-Brooking, 2016, p. 19).

Además de la generación de imágenes, la IA también se utiliza para optimizar otros recursos que son parte fundamental en el día a día de un diseñador. Los algoritmos pueden analizar automáticamente aspectos como el color, la composición y la nitidez de las imágenes, y realizar ajustes para mejorar su calidad y efectividad visual. Esto ahorra tiempo a los diseñadores y garantiza que las imágenes cumplan con los estándares de calidad deseados, sin requerir una intervención manual extensa. La implementación de esta nueva tecnología en todos los sistemas continuará evolucionando, lo que resultará en interacciones más efectivas, una mayor estimulación de la creatividad y una mejora general en la calidad de los

servicios. Recordemos que la inteligencia artificial tiene el potencial de enriquecer la capacidad humana en términos de creatividad, ya que el uso de máquinas puede simplificar tareas y fomentar un mayor crecimiento creativo. (Rico Sesé, 2020).

Esta propuesta de enriquecimiento de la capacidad creativa humana mediante el uso de inteligencia artificial (IA) se puede implementar a través de varios métodos y herramientas, con la utilización de algoritmos avanzados de aprendizaje automático y procesamiento del lenguaje natural, para analizar grandes conjuntos de datos y proporcionar sugerencias y recomendaciones personalizadas a los usuarios. Además, se podrían crear sistemas de IA que trabajen en colaboración con diseñadores humanos, proporcionando asistencia en tiempo real durante el proceso creativo. Dichos sistemas actuarían como compañeros creativos, ayudando a los diseñadores a superar bloqueos, experimentar con nuevas ideas y explorar soluciones innovadoras.

El diseño gráfico automatizado tiene un impacto sobre la creación visual, lo que se extiende a la organización y gestión eficiente de archivos. Así, la implementación de algoritmos de inteligencia artificial permite una variedad de funciones útiles, como la etiquetación automática de imágenes, la clasificación de archivos según su tipo o tema, y la sugerencia de archivos relevantes para proyectos específicos. Con esto se agiliza el proceso de búsqueda y recuperación de recursos visuales, así como el fomento de la colaboración fluida entre los miembros del equipo y la optimización en el intercambio de archivos.

De manera más ilustrativa, podríamos equiparar este proceso de diseño asistido con la creación de un *moodboard* virtual, una herramienta dinámica donde los diseñadores encuentran inspiración y puntos de partida para diversos proyectos visuales. Este recurso, generado automáticamente, sirve como un catalizador creativo, ofreciendo una base sólida sobre la cual construir nuevas ideas y conceptos visuales.

Es importante recalcar que, si bien estas herramientas son poderosas, su aprovechamiento óptimo requiere un cierto grado de conocimiento previo. Muchos de los términos y procesos utilizados en la generación de recursos visuales son específicos del campo del diseño gráfico, lo que destaca la importancia de la formación y la familiarización con estas tecnologías dentro de dicho ámbito. Aunque la influencia de la inteligencia artificial (IA) es evidente en varios campos del diseño, uno de los más notorios es la parte de la ilustración o representaciones gráficas, donde numerosas herramientas se destacan por generar piezas visuales basadas en la ilustración. Aquí, es necesario entender que no siempre es necesario tener un dominio técnico específico, ya que mediante el uso de *prompts* es posible aproximarse a diversas técnicas gráficas, como el cubismo, óleo y muchas otras más.

Si bien ofrece una serie de beneficios en términos de eficiencia, personalización y calidad, también esto plantea desafíos y consideraciones éticas, por tanto, es crucial que los diseñadores utilicen la IA de manera responsable, asegurándose de comprender y mitigar cualquier sesgo o prejuicio que se presente en los algoritmos. Asimismo, es importante mantener un equilibrio entre la automatización y la creatividad humana, reconociendo que la IA aún requiere de la supervisión y la intervención de diseñadores expertos para producir resultados efectivos. El diseño gráfico asistido, cuando se utiliza de manera reflexiva y ética, tiene el potencial de transformar la forma en que se crea y se consume el contenido visual en el mundo moderno.

Como se evidencia en la figura 2, numerosas palabras resaltadas en verde representan términos comúnmente empleados por diseñadores gráficos. Esto sugiere cómo, a través del *prompt* inicial o base, se puede captar ciertas características y criterios, para generar nuevo material gráfico. En este punto, se destaca con claridad cómo el diseño automatizado sirve de punto de partida y brinda una especie de *moodboard* virtual.



Figura 2 .Diseño para portada de revista con IA – Digital ART + Ideogram.
Fuente: D. Santos

Aquí surge la función del diseño automatizado, como un recurso único que sirve de punto de partida dinámico. Siendo este *moodboard* virtual, aquel que puede despertar la imaginación y estimular la exploración de nuevas ideas y conceptos visuales. El proceso simplifica la tarea del diseñador y fomenta la innovación, al ofrecer una visión estructurada y organizada de las posibles direcciones creativas a seguir.

Dado que los términos mencionados son fácilmente comprensibles para aquellos con experiencia en diseño gráfico, el desafío de crear una composición visual, que capture adecuadamente la esencia de la idea o diseño original utilizando herramientas de IA, puede resultar complejo y propenso a errores para quienes no tienen este conocimiento previo. Por lo tanto, la familiaridad con los conceptos es fundamental para mejorar la efectividad y precisión del proceso creativo automatizado, lo cual garantiza resultados más satisfactorios y alineados con las expectativas del diseñador y permite una comunicación

más fluida entre el creador y las herramientas tecnológicas empleadas.

Así, el dominio de los conceptos facilita la comprensión de cómo las diferentes técnicas y algoritmos de inteligencia artificial se aplican de manera óptima para lograr los objetivos estéticos y comunicativos deseados. La comprensión de los principios básicos del diseño gráfico proporciona un marco sólido sobre el cual construir y ajustar las decisiones tomadas por los sistemas de IA, permitiendo una mayor personalización y adaptación a las necesidades específicas de cada proyecto.

Adicionalmente, la familiaridad con los términos y conceptos del diseño gráfico ayuda a los usuarios a interpretar y utilizar de manera más efectiva las herramientas de IA disponibles en el mercado. Esto implica una capacidad mejorada para seleccionar y configurar los parámetros adecuados, así como para evaluar y refinar los resultados obtenidos, lo que conduce a una mayor eficiencia y calidad en el proceso creativo.



Figura 3. *Théâtre d'Opéra Spatial*.
Fuente: Jason Allen/Midjourney

Al examinar la capacidad mejorada para seleccionar los parámetros adecuados, representada en la figura 3, se destaca que, a pesar de la controversia que rodeó en su momento la obra de Jason Allen, un análisis exhaustivo revela la profunda complejidad de la imagen en cuestión. Tal complejidad, que desafía los límites de la percepción visual, puede ser verdaderamente apreciada y comprendida por individuos dotados de un profundo conocimiento en áreas tan fundamentales como la cromática, la composición, los estilos artísticos y otros elementos compositivos.

Este conocimiento detallado es esencial para comprender la profundidad y el impacto de la obra, y constituye el cimiento sobre el cual se construyen resultados coherentes y sorprendentes. Ya sea que la creatividad emane de un artista visionario o de un diseñador meticuloso, la habilidad para fusionar estos elementos en una obra maestra, visualmente impactante, es el fruto de años de estudio, experiencia y refinamiento artístico. Por lo tanto, la verdadera esencia de la obra de Jason Allen, así como de cualquier trabajo de arte complejo y significativo, reside en la habilidad del creador, quien debe tener la capacidad de elegir estratégicamente el conteni-

do, elevando así la obra de arte a un nivel de excelencia y distinción que trasciende cualquier controversia inicial.

Según ha indicado el arquitecto A. Beltrán, “el conocimiento previo no es indispensable para la generación de imágenes con IA pero, sin embargo, es imperativo para obtener resultados de mejor calidad, que respondan a las necesidades propias de quien las requiera, y que además, éstos muestren una combinación entre la riqueza teórica y creativa de quien las genera” (Comunicación personal, 4 de abril de 2024).

La ausencia de conocimiento previo puede limitar la capacidad de la inteligencia artificial para interpretar correctamente las necesidades del usuario y generar imágenes que realmente cumplan con sus expectativas. Por otro lado, cuando se combina el conocimiento teórico con la capacidad creativa, se potencia la capacidad de la inteligencia artificial para producir resultados más precisos y relevantes. De esta manera, se puede decir que el conocimiento previo actúa como un catalizador que enriquece el proceso de generación de imágenes, proporcionando a la inteligencia artificial un marco de referencia sólido desde el cual trabajar. Al comprender

los principios fundamentales del tema en cuestión, así como las preferencias y requisitos específicos del usuario, se logran imágenes más relevantes, impactantes y efectivas en la comunicación de mensajes.

4. ÉTICA Y RESPONSABILIDAD

Conforme el diseño gráfico automatizado se introduce cada vez más en nuestra sociedad, se intensificarán las preocupaciones éticas y las responsabilidades relacionadas con su aplicación generalizada. Las inquietudes abarcan un amplio rango de consideraciones, que van desde el sesgo algorítmico hasta la atribución de la autoría y la supervisión de los resultados producidos por la inteligencia artificial. Como se ha evidenciado, el objetivo principal de la inteligencia artificial es imitar la capacidad humana en dispositivos y sistemas computarizados. La viabilidad de este objetivo es objeto de discusión entre expertos en inteligencia artificial, científicos y filósofos (Marín, 2019).

El sesgo algorítmico es una de las preocupaciones más urgentes. A medida que las herramientas de Inteligencia Artificial se entrenan en conjuntos de datos históricos, pueden perpetuar sesgos existentes en esos datos, como prejuicios culturales, de género o sociales. Esto podría resultar en la producción y promoción de diseños que refuercen estereotipos o discriminación, lo que va en contra de los principios de igualdad y diversidad.

La atribución de la autoría es otra área de preocupación ética. A medida que las máquinas se vuelven cada vez más hábiles en la creación de diseños, surge la pregunta sobre quién es el verdadero autor detrás de esas creaciones. ¿Deberían atribuirse los méritos a la máquina, al diseñador que configuró los parámetros o a ambos? Esta cuestión plantea desafíos legales y éticos en cuanto a la propiedad intelectual y la compensación justa por el trabajo creativo. La evaluación ética de las aplicaciones equipadas con inteligencia

artificial avanzada, propone desafíos adicionales, principalmente porque no está claro si es factible desarrollar máquinas con una inteligencia general similar a la humana. En la actualidad, comprendemos que la complejidad del cerebro humano es extremadamente difícil de imitar (López de Mántaras, 2015).

La responsabilidad por los resultados generados por la inteligencia artificial también acarrea interrogantes éticos y legales. ¿Quién es responsable si un diseño automatizado infringe los derechos de autor de otra persona o causa daño a la reputación de una empresa? ¿Deberían los diseñadores, los desarrolladores de software o los propietarios de plataformas ser considerados responsables? Estas preguntas requieren una cuidadosa consideración y un marco legal claro para garantizar una aplicación justa y equitativa de la ley.

Es oportuno abordar estas preocupaciones de manera proactiva y colaborativa entre diseñadores, desarrolladores de software, reguladores y la sociedad en general, lo cual implica la implementación de políticas y estándares en el desarrollo y uso de herramientas automatizadas, así como la promoción de la transparencia y la responsabilidad en la toma de decisiones algorítmicas. Al hacerlo, podemos asegurar que el diseño gráfico asistido se utilice de manera ética y responsable, promoviendo la equidad, la diversidad y el respeto hacia todas las personas involucradas en el proceso creativo.

Se ha señalado anteriormente cómo los sistemas con inteligencia artificial se consideran "autónomos" en un sentido limitado: su razonamiento y toma de decisiones siempre tienen por base una programación predefinida. Aunque esta programación puede ser extensa y compleja, sigue sujeta a los límites establecidos por el diseño. Por lo tanto, la responsabilidad ética asociada con los diferentes usos de la inteligencia artificial recae directamente en las personas, y no en las máquinas (Buchholz y Rosenthal, 2002).

De ahí que la incorporación de consideraciones éticas durante la fase de diseño sea esencial para establecer una base, que guíe el desarrollo de aplicaciones que emplean inteligencia artificial. Sin embargo, es importante comprender que este paso inicial, aunque fundamental, no puede garantizar por sí solo la total seguridad y el uso responsable de dichas aplicaciones. Más allá de la etapa de diseño, se requiere implementar procesos de monitoreo continuo, evaluación y actualización, para abordar de manera efectiva los desafíos éticos en curso y adaptarse a un entorno en constante evolución.

5. MÉTODO

El marco de esta investigación tiene por base una metodología cualitativa, elegida por su idoneidad para analizar las piezas gráficas generadas por inteligencia artificial en el campo del diseño gráfico. La naturaleza cualitativa de este enfoque permite una comprensión profunda y contextualizada de las creaciones visuales, centrándose en aspectos como su significado, propósito y la interacción entre la inteligencia artificial y los diseñadores gráficos. Para justificar este método, es importante destacar que la complejidad y la naturaleza subjetiva del diseño gráfico automatizado requieren un enfoque que permita explorar en detalle las percepciones, interpretaciones y experiencias de los actores involucrados.

Dentro de este marco metodológico se emplearán diversas técnicas de investigación cualitativa, incluida la observación directa de las piezas gráficas generadas por inteligencia artificial, así como entrevistas y análisis de contenido en profundidad, de artistas o diseñadores que trabajan en este campo. Estas técnicas permitirán obtener información detallada sobre el proceso de creación, las percepciones y opiniones de los profesionales involucrados, así como las interacciones entre la inteligencia artificial y los diseñadores. Además, se utilizarán herramientas de análisis cualitativo,

como el análisis de contenido, para profundizar en los elementos que conforman el diseño asistido por inteligencia artificial y explorar su relación con los diseñadores gráficos.

6. DISCUSIÓN

Como el diseño gráfico automatizado, impulsado por la inteligencia artificial (IA), ha transformado radicalmente la forma en que se crean y se perciben los elementos visuales en diversos contextos –desde la creación de una imagen hasta el diseño de logotipos e interfaces de usuario–, este progreso tecnológico, sin embargo, suscita importantes dilemas éticos que requieren ser examinados y considerados de manera reflexiva.

Se debe considerar el impacto ético de la automatización en el proceso creativo del diseñador. Si bien el diseño automatizado puede aumentar la eficiencia y la productividad, también plantea preocupaciones sobre la originalidad y la singularidad en la creación de contenido visual. ¿Hasta qué punto las máquinas logran realmente capturar la esencia de la creatividad humana? ¿Existe el riesgo de regular el diseño a través de la automatización, limitando la diversidad y la innovación en el campo del diseño gráfico?

La responsabilidad en el diseño gráfico es un tema crucial. ¿Quién es responsable de los diseños generados por algoritmos de IA: los diseñadores que los crearon, los desarrolladores de software o las propias máquinas? ¿Cómo se abordan las cuestiones de atribución de autoría y propiedad intelectual, en un entorno donde la línea entre la creatividad humana y la generación automatizada de diseño se vuelve cada vez más difusa?

Además, es válido adoptar un enfoque proactivo y reflexivo sobre el uso de inteligencia artificial en las diferentes áreas del diseño, lo que implica la implementación de políticas y prácticas que promuevan la

transparencia en todas las etapas del proceso de diseño. Esto permite que los diseñadores y los usuarios finales comprendan mejor cómo se generan los diseños y cómo afectarían a diferentes grupos de personas.

Para lograr los objetivos mencionados, se debe establecer estándares éticos claros y aplicables, así como mecanismos efectivos de supervisión y cumplimiento. Además, se necesita una colaboración estrecha entre diseñadores, desarrolladores de software, expertos en ética, reguladores y la sociedad en su conjunto, para garantizar que las políticas y prácticas implementadas reflejen los valores y preocupaciones de todas las partes interesadas.

7. CONCLUSIÓN

Durante esta investigación, se ha analizado detalladamente el impacto del diseño gráfico automatizado, impulsado por los avances en inteligencia artificial (IA). Este análisis crítico ha subrayado la necesidad de examinar tanto las ventajas y oportunidades que ofrece esta tecnología como los desafíos éticos y responsabilidades asociados con su implementación.

La IA afecta diversos aspectos de la sociedad y la cultura. Desde la propagación de estereotipos y prejuicios hasta cuestiones de propiedad intelectual y atribución de autoría, se han identificado preocupaciones que requieren una consideración cuidadosa y un enfoque responsable.

Aunque el diseño asistido por IA mejora la eficiencia y la productividad, también plantea desafíos significativos. La automatización de tareas creativas puede llevar a la pérdida de singularidad y originalidad en el diseño, y a la exacerbación de desigualdades existentes. Por lo tanto, es crucial que diseñadores y desarrolladores consideren el impacto de sus decisiones en el ámbito del diseño gráfico.

Es fundamental integrar consideraciones éticas en todas las etapas del proceso de

diseño para asegurar un uso adecuado de la IA. La transparencia, equidad y responsabilidad deben ser pilares clave en el diseño, desarrollo y aplicación de herramientas de diseño gráfico automatizado.

La IA en el diseño gráfico representa un avance notable en la industria, ofreciendo ventajas desde la optimización del proceso de producción hasta la estimulación de la creatividad mediante la generación de ideas base, como los moodboards. Sin embargo, enfrentamos desafíos que requieren una atención crítica y reflexiva.

Debemos ser conscientes de la importancia de mantener la originalidad y el proceso creativo en un entorno cada vez más automatizado. La preocupación por la uniformidad de los diseños y la pérdida de identidad creativa nos exige encontrar un equilibrio entre la conveniencia tecnológica y la autenticidad.

No podemos ignorar los riesgos de la implementación de la IA en el diseño gráfico, como la dependencia excesiva de algoritmos predefinidos y el sesgo algorítmico que puede perpetuar estereotipos y reducir la diversidad creativa. Es esencial destacar las consideraciones éticas y prácticas que acompañan a estas innovaciones, exigiendo una vigilancia cuidadosa y acción deliberada para salvaguardar los valores fundamentales y garantizar un uso responsable de la tecnología.

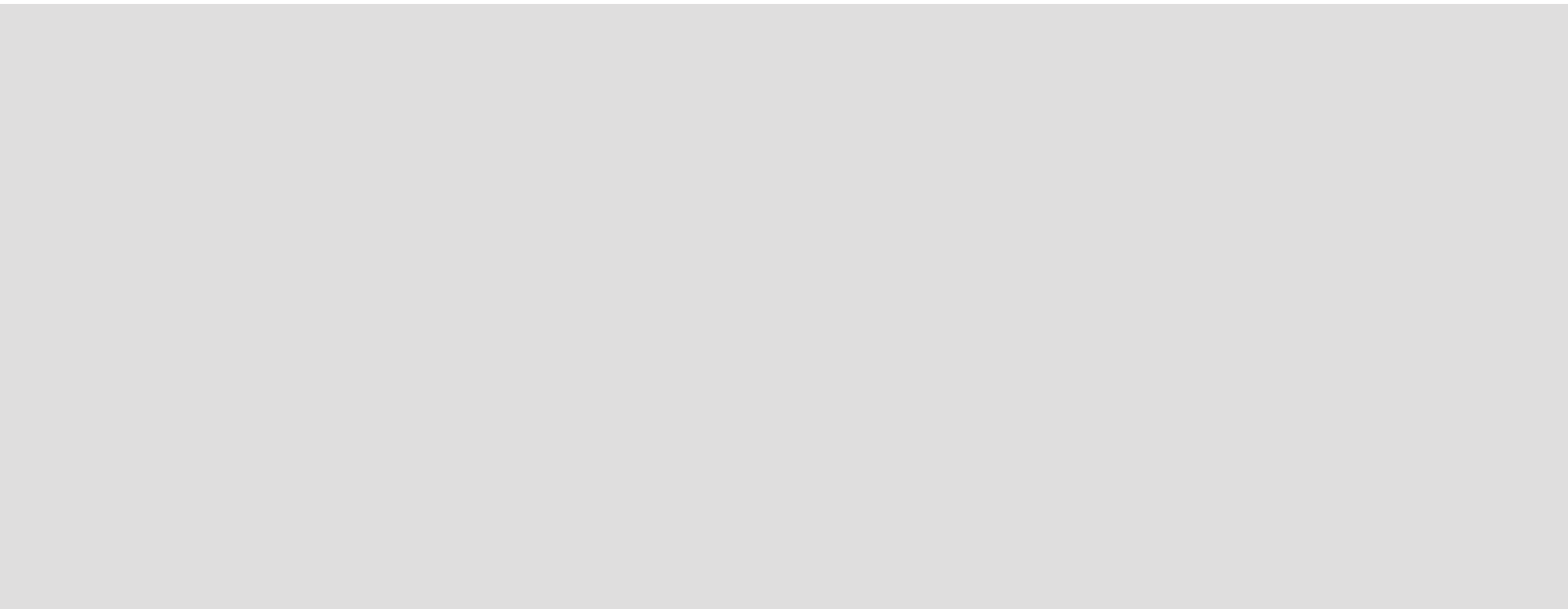
Más allá de los beneficios y oportunidades, es crucial reconocer las limitaciones y riesgos de esta tecnología. Debemos comprometernos con un análisis continuo y crítico de las implicaciones éticas, sociales y culturales de la integración de la IA en el proceso creativo. Esto implica cuestionar cómo los algoritmos pueden influir en la percepción y producción de la belleza, la identidad y la expresión visual. Además, es necesario abordar cuestiones de propiedad intelectual y atribución en un entorno donde la generación y modificación automática de contenido visual es cada vez más común.

Es importante mantener una visión equilibrada y proactiva, reconociendo que, aunque existen desafíos significativos, también hay un vasto potencial para la innovación y mejora continua. Al adoptar principios éticos sólidos y promover la transparencia en el desarrollo y uso de herramientas inteligentes, podemos aspirar a un futuro donde la eficiencia no esté en conflicto con la autenticidad y la integridad creativa.

De este modo, mediante un enfoque equilibrado y ético, es posible garantizar que el diseño gráfico automatizado sea eficiente, genuino y relevante en su impacto en la cultura y la sociedad. Trabajemos hacia un panorama creativo más inclusivo, diverso y significativo, donde la tecnología y la expresión humana se fusionen en armonía para dar forma a un mundo visualmente enriquecido y en constante evolución.

8. REFERENCIAS

- Buchholz, R. A. y Rosenthal, S. B. (2002). Technology and Business: Rethinking the Moral Dilemma. *Journal of Business Ethics*, 41(1-2), 45-50.
- Frascara, J., Fontana, R., Meurer, B., Shakespear, R., Toorn, J. van, Winkler, D. R., Strickler, Z., y Frascara, J. (2004). *Diseño gráfico para la gente: Comunicaciones de masa y cambio social* (3ª ed.). Infinito.
- López de Mántaras, R. (2015). Algunas reflexiones sobre el presente y futuro de la Inteligencia Artificial. *Novática*, 234(4), 97-101. hdl.handle.net/10261/136978.
- Marín, S. (2019). *Ética e inteligencia artificial*. <https://www.iese.edu/media/research/pdfs/ST-0522.pdf>
- Mialhe, N. (2018). *Competing in the Age of Artificial Intelligence: The State of the Art of AI & Interpretation of Complex Data*. Focus (SCOR Global P&C).
- Mialhe, N., & Lannquist, Y. (2018). *Un desafío de gobernanza mundial. Integración & comercio*, 44 (pp. 218-231). <https://intal-lab.iadb.org/algoritmolandia/10.php>
- Ocaña-Fernández, Y., Valenzuela-Fernández, L. A., & Garro-Aburto, L. L. (2019). Inteligencia artificial y sus implicaciones en la educación superior. *Propósitos y Representaciones*, 7(2), 536-568. <https://dx.doi.org/10.20511/pyr2019.v7n2.274>
- Rico Sesé, J. (2020). El diseñador gráfico en la era de la Inteligencia Artificial. *EME Experimental Illustration, Art & Design*, 8(8), 66-73. <https://doi.org/10.4995/eme.2020.13210>
- Rodríguez, P., Díaz, N. (2024). Estudios sobre la inteligencia artificial como herramienta del diseño gráfico: una investigación documental. *Artificio* (5), eB1-eB20. e-ISSN2992-7463 Site. <https://revistas.uaa.mx/index.php/artificio>
- Rouhiainen, L. P. (2018). *Inteligencia artificial 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro*. Editorial Planeta, S.A.
- Slade-Brooking, C. (2016). *Creating a brand identity: A guide for designers*. Laurence King Publishing.



Study of an Environmentally Friendly High-Performance Concrete (HPC) Manufactured with the Incorporation of a Blend of Micro-Nano Silica

Estudio de un hormigón de alto rendimiento (HPC), respetuoso con el medio ambiente, fabricado con la incorporación de una mezcla de micronano sílice

EÍDOS N°24

Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo

ISSN: 1390-5007

revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos

¹Jhon Fabricio Tapia Vargas, ^{2,3,4}Mohammadfarid Alvansazyazdi,

⁵Alexis Andrés Barrionuevo Castañeda

¹Maestría en Construcciones de Obras Civiles Mención Gestión y Dirección, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Central del Ecuador, Av. Universitaria. ing.jftapiav@outlook.es.
ORCID: 0000-0002-6089-040X

²Institute of Science and Concrete Technology, ICITECH, Universitat Politècnica de València, Spain.

³Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Central del Ecuador, Av. Universitaria, Quito 170521, Ecuador.

⁴Facultad Ingeniería, Industria y Construcción, Carrera Ingeniería Civil, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Ecuador. faridalvan@uce.edu.ec. ORCID: 0000-0001-8797-5705

⁵Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Pastaza. alexis_3214@hotmail.com.
ORCID: 0009-0000-7634-5513

Abstract:

This study focuses on the evaluation of the impact of the addition of different percentages of nanosilica (NS) (0.75 %, 1.5 % and 3 % - and microsilica (MS) – 5 %, 10 % and 15 %), as partial cement substitutes in the formulation of high performance concrete (HPC). Mechanical assessments, including compression, tension, flexural strength, dynamic modulus, Poisson's ratio, and elasticity measurements, were performed at intervals of 3, 7, 28, 56, and 91 days to understand the impact on HPC's structural characteristics. Additionally, scanning electron microscopy (SEM), transmission electron microscopy (TEM), and energy-dispersive X-Ray spectroscopy (EDS) were carried out to examine changes in microstructure. Results indicate that incorporating 15 % microsilica in the concrete mix yields a more pronounced improvement in mechanical properties compared to adding only 3 % nano-silica, surpassing even the combination of 15 % microsilica and 3 % nano-silica. This substitution approach enhances sustainability by reducing cement usage.

Keywords: Cementitious Environmentally Friendly, HPC Materials, Microsilica, Nano-silica, Physical-mechanical properties, sustainability.

Resumen:

Este estudio se centra en la evaluación del impacto de la adición de diferentes porcentajes de nanosílice (NS) (0.75 %, 1.5 % y 3 % - y microsílice (MS) – 5 %, 10 % y 15 %), como sustitutos parciales del cemento en la formulación de concreto de alto desempeño (HPC). Se realizaron evaluaciones mecánicas, incluidas mediciones de compresión, tensión, resistencia a la flexión, módulo dinámico, índice de Poisson y elasticidad, en intervalos de 3, 7, 28, 56 y 91 días, para comprender el impacto en las características estructurales del HPC. Además, se llevaron a cabo microscopía electrónica de barrido (SEM), microscopía electrónica de transmisión (TEM) y espectroscopia de rayos X de dispersión de energía (EDS), para examinar los cambios en la microestructura. Los resultados indican que la incorporación de un 15 % de microsílice en la mezcla de hormigón, produce una mejora más pronunciada en las propiedades mecánicas, en comparación con la adición de sólo un 3 % de nanosílice, superando incluso la combinación de un 15 % de microsílice y un 3 % de nanosílice. Este enfoque de sustitución mejora la sostenibilidad al reducir el uso de cemento.

Palabras claves: Cementos ecológicos, materiales HPC, microsílice, nano-sílice, propiedades físico-mecánicas, sostenibilidad.

1. INTRODUCTION

The economic development and evolution of countries are closely engaged with the construction industry and the creation of new materials. Improving the durability of cement has been instrumental in prolonging the service life of concrete structures [1-5]. The introduction of nanotechnology into the construction sector, particularly through the use of nano-silica (NS), has been shown to significantly improve the mechanical properties and durability of cement-based products due to its high purity and specific surface area, which affect the hydration and microstructure of cement [6, 7].

Building upon this foundation, the integration of various nanomaterials beyond nano-silica, such as nano-alumina, carbon nanotubes, and others, continues to push the boundaries of concrete's capabilities [8, 9]. These materials contribute to a significant enhancement in the compressive, tensile, and flexural strengths of concrete by optimizing the particle packing and reducing the porosity of the cementitious matrix, leading to denser and more robust concrete structures [10-12]. This evolution in concrete technology not only supports structural integrity but also extends the lifespan of infrastructure, marking a pivotal shift towards more sustainable construction practices [13].

Moreover, the addition of nanomaterials has been found to improve the workability and reduce the water absorption of concrete, factors that are crucial for the practical application and longevity of concrete structures in various environmental conditions [14]. Enhanced workability facilitates easier mixing and application, while reduced water absorption minimizes the risk of damage from freeze-thaw cycles and chemical attack, thereby preserving the structural health and integrity over time [15, 16].

In this regard, it is necessary to design high-performance concretes (HPC) with nanomaterials incorporated into the con-

crete matrix, aiming to achieve good workability, durability, and superior strength properties compared to conventional concrete. This can be accomplished by employing existing calculation methods and available materials [7, 17-20].

Nowadays, HPC plays a crucial role in the construction of specialized structures due to the enhancements it offers over conventional concrete. HPC enables the construction of increasingly slender structures by reducing the cross-sections of structural elements, thereby providing more available space within buildings [21, 22].

Moreover, the development of Environmentally Friendly High-Performance Concrete (HPC) incorporating a blend of micro-nano silica represents a significant stride towards sustainable construction practices. This innovative approach not only aims to enhance the mechanical and durability properties of concrete but also focuses on reducing the environmental impact associated with traditional concrete production methods. By integrating micro and nano silica, the concrete matrix can be significantly improved, leading to a reduction in the carbon footprint of construction materials and promoting eco-friendly building solutions [23, 24].

Lastly, the environmental sustainability of concrete is significantly enhanced through the use of nanomaterials. By improving the material's mechanical properties and durability, the lifecycle of concrete structures is extended, reducing the overall environmental impact associated with their construction and maintenance [25]. Furthermore, an example of sustainable practices in the construction industry, although not analyzed in this study, is the use of nanomaterials such as fly ash contributes to sustainable development practices by recycling industrial waste, further diminishing the construction industry's carbon footprint[26].

The importance of this study extends beyond the technical advancements in con-

crete properties. The research aims to provide a comprehensive understanding of how the combined effects of micro and nano silica can optimize HPC's performance, offering a viable solution that aligns with global sustainability goals. By exploring alternative micro and nano silica dosage and methods that reduce the reliance on conventional cementitious materials, this research contributes to the development of more sustainable urban environments.

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

2.1. Materials Used

For the analysis in this research, aggregates from the Pifo quarry, located in the province of Pichincha in Ecuador, were utilized. Holcim type Gu cement [27] and a superplasticizer 7955 from Basf [28] were also employed.

For this research, MasterLife SF 100 microsilica is used from the company Basf and distributed by Imperquik, whose technical specification recommends the use of microsilica in percentages of between 5% and 15% as an addition to the cement [28].

Nanosilica is made up of dozens of nanometer-sized amorphous particles composed of silica dioxide (SiO₂), which is the interaction of silicon with oxygen that is commonly called silica. This nano component has pozzolanic properties that, when reacting with the cement, improve its mechanical properties.

Among all the characteristics, the coarse aggregate has a maximum size of ½", a specific gravity of 2.47 g/cm³, and an absorption capacity of 4.92%. The fine aggregate is a crushed natural quarry sand with a specific gravity of 2.57 g/cm³, an absorption capacity of 3.1%, and a fineness modulus of 2.96. All the parameters for both the coarse and fine aggregates comply with the requirements specified in the ASTM [29].

2.2 Mixing and Testing Procedure

The concrete mixture process was meticulously followed to ensure optimal consistency and strength of the final product. First, we dampened the interior of the concrete mixer to prevent any dry materials from sticking and to facilitate an even mix. Then, we added both the coarse and fine aggregates into the mixer, allowing them to blend for a full minute to achieve a uniform distribution.

Following the initial mixing, we introduced the specified amount of cement to the aggregate mixture, continuing the blending process for an additional 30 seconds to ensure the cement was thoroughly integrated with the aggregates. After the cement had been mixed in, we added water that had been pre-mixed with nano-silica to the mixer. This combination was then mixed for approximately two minutes, allowing the nano-silica to disperse evenly throughout the mixture, which enhances the concrete's mechanical properties and durability.

Finally, we incorporated the additive into the mixture. This step was done carefully to allow sufficient time for the additive to react properly with the other components, ensuring proper particle adherence and achieving the desired chemical and physical properties in the finished concrete. This methodical approach to mixing ensures that the concrete possesses the necessary workability, strength, and longevity required for our construction needs. The mixture proportion is provided in Table.

To enhance the properties of nano-silica in the concrete, a mechanical mixer is used to achieve a homogeneous mixture of nano-silica and water, producing a slurry that guarantees improved properties in the concrete fabrication process.

Once the mixture was ready, a portion of it was used to measure the slump flow according to the standard ASTM C-161 [30] s, and the remaining mixture was poured into

100 mm molds for compression and tensile studies. The specimens fabricated were left to cure in the curing chamber for the assigned ages of 3, 7, 28, 56, and 91 days for their respective tests.

3.LABORARY TEST, RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Slump Flow Test

According to the data presented in Table 1, for a water-to-cement ratio (w/c) of 0.3 and varying percentages of added micro-silica and nano-silica particles to the high-performance concrete (HPC), an increase in their content leads to a reduction in the flow diameter of the mixture compared to the control mix. This observation can be attributed to the specific surface area of the microsilica and nano-silica particles, which causes cohesion forces between both micro and nanoparticles, resulting in the formation of silica agglomerates. As a result, these agglomerates exhibit high adsorption and significant water retention capacity due to their high specific surface area and porosity at the micro and nanoscale.

The specific surface areas of microsilica and nano-silica particles significantly impact their cohesion forces, leading to the

formation of silica agglomerates. This phenomenon is attributed to factors such as the surface energy of the particles and their interaction with surrounding conditions. Studies have shown that higher surface energy in substances like amorphous silica spheres enhances adhesion forces between particles, facilitating their aggregation (Kamel, 2016). Additionally, the presence of hydrophobic silica nanoparticles can induce anti-adhesive forces at interfaces, altering the adhesive properties and promoting the formation of aggregates [32]. Furthermore, the dynamic adhesion behavior of silica particles is highly dependent on surface and electrostatic heterogeneity, influencing how particles adhere and aggregate under different conditions [33].

The formation of a dense agglomeration of solid particles in the mixture containing microsilica and nano-silica is another reason for the substantial increase in flowability and viscosity of the cementitious materials. To address this, higher dosages of water-reducing superplasticizer are recommended to maintain workability and inhibit flow reduction in high-performance concrete (HPC) due to the increased percentage of cement substitution and the increased specific surface area of microsilica and nano-silica particles.

Table 1. Proportion of HPC mixes (Kg/m³)

Mix code	Type	w/b	Cement	Water	Micro-SiO ₂	Nano-SiO ₂	Gravel	Sand	SP	Slump flow diameter (cm)
C	-	0,30	550	165	-	-	944,53	652,63	6.6	59
5% MS	ML SF100		522.5	165	27.5	-	940.4	649.8	7.15	51
10% MS	ML SF100		495	165	55	-	946.9	646.9	7.7	53
15% MS	ML SF100		467.5	165	82.5	-	932	644	8.8	56
0,75% NS	NS200		545.875	165	-	4.125	943.6	652	11	52.5
1,5% NS	NS200		541.75	165	-	8.25	942.7	651.4	14.3	55
3% NS	NS200		533.5	165	-	16.5	940.9	650.1	17.05	56
15% MS+ 1,5% NS	ML+NS		459.25	165	82.5	8.25	930.2	642.7	23.1	54
15% MS + 3% NS	ML+NS		451	165	82.5	16.5	928.4	641.5	25.85	51

3.2. Mechanical Properties

3.2.1. Compressive Strength

The results of the mechanical tests for compressive strength and indirect tensile strength are shown in Table 2 and Table 3, respectively.

The incorporation of nanosilica into concrete has been specifically studied for its impact on compression resistance. Nanosilica acts as a partial replacement for cement, contributing to the improvement of the concrete's mechanical properties due to its pozzolanic reaction and microstructural refinement. For instance, Ganesh et al. [34, 35] and Ardalan et al. [35] observed that the addition of nanosilica improves the compressive strength of concrete by enhancing the hydration process and refining the microstructure of the cementitious matrix. Additionally, Zanon et al. [36] and Lim & Mondal [37] reported that the combined use of nanosilica with other admixtures, like silica fume, can further increase compressive strength, reduce capillary absorption, and

minimize chloride penetration, primarily attributed to the synergetic effect of nano-silica in the cementitious composite. This demonstrates that nanosilica contributes positively to the compression resistance of concrete, making it a valuable component for enhancing the structural properties of concrete mixtures.

Based on the results obtained with the incorporation of microsilica and pyrogenic nano-silica in the mixture, the mechanical strengths have improved as the curing ages increase for both the mixtures with the incorporation of micro and nanoparticles compared to the control concrete.

There is a positive effect for nano-silica, as its incorporation into the matrix of cement-based materials like concrete is attributed to a 4-fold increase in performance. Both microsilica and nano-silica demonstrate high pozzolanic activity and control unfavorable crystallization due to a large number of micro and nanoparticles among hydration products, along with their confinement role.

Table 2. Compressive strength test result (MPa)

Mix code	Curing Age				
	3 Days	7 Days	28 Days	56 Days	91 Days
C	31.42	43.92	58.65	64.74	69.71
5% MS	31.99	43.86	62.06	70.76	76.39
10% MS	30.17	42.98	62.06	71.53	78.19
15% MS	25.11	41.90	74.62	79.90	81.85
0,75% NS	24.36	41.47	57.55	64.66	70.23
1,5% NS	27.39	38.59	57.71	65.34	71.37
3% NS	27.53	39.61	57.52	65.52	73.27
15% MS+ 1,5%NS	17.33	36.57	61.85	72.77	78.51
15% MS + 3% NS	22.42	42.37	64.21	74.98	80.24

Table 3. Indirect tensile strength test result (MPa)

Mix code	Curing Age			
	3 Days	7 Days	28 Days	56 Days
C	2.22	3.63	4.29	4.59
15%MS	2.24	3.62	4.78	5.89
3%NS	2.22	3.45	4.75	5.83
15%MS + 3%NS	1.93	3.39	4.79	5.87

Nanosilica, when incorporated into the matrix of cement-based materials such as concrete, has been shown to have a significantly positive effect on their performance. This study has shown that the addition of nanosilica results in an increase of up to 4 times the strength and durability of concrete. Both microsilica and nanosilica exhibit high pozzolanic activity, allowing them to control unfavorable crystallization in the concrete matrix.

Research by Qing, Zhang, Li, and Chen [38] demonstrates that nano-SiO₂ exhibits notably higher pozzolanic activity compared to silica fume, contributing to improved compressive and bending strength in concrete, especially at early ages. Furthermore, Hassan [39] explores the inefficiency of traditional testing methods for nano-silica in concrete, proposing a modified approach due to nano-silica's unique properties such as its high surface area and pozzolanic reactivity.

Micro and nano particles incorporated in concrete help control micro and nanoscale porosity within its microstructure, specifically in the transition zone between aggregates and cement paste, thus contributing to increased strength. For a water-to-binder ratio (w/b) of 0.30, higher values were obtained using 15% microsilica and 3% nano-silica, as compared to other percentage additions. This is attributed to the particles' ability to act as filler agents, reducing the formation of micro pores and enhancing the material's density [40, 41].

According to Table 2, the compressive strength is greater for microsilica, nano-silica, and their combination across various curing periods. The highest values were achieved for 15% MS, 3% NS, and 15% MS + 3% NS. This resulted in an increase of 17%, 5%, and 15% respectively at 91 days, thereby obtaining higher strengths than the control mix. The compressive strength of High-Performance Concrete (HPC) incorporating microsilica, nano-silica, and the combination of both was higher than the control mix. At early ages, slightly lower

strengths were obtained for the values of 15% MS, 3% NS, and 15% MS + 3% NS. However, these differences may be attributed to the increased pozzolanic activity. While there is no standardized method for enhancing the dispersion of micro- and nanoparticles of silica, employing expensive techniques like ultrasonic mixing has resulted in better distribution of nanoparticles throughout the microstructure.

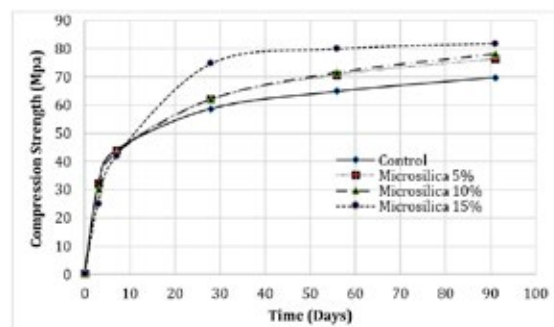


Figure 1. Compression Strength of Microsilica

Figure 1 presents the results of the compression tests for the control specimen compared to specimens containing microsilica at concentrations of 5%, 10%, and 15%. The influence of microsilica is evident, as the trend curve lines for all concrete samples with added microsilica surpass that of the control specimen in terms of compression behavior. Notably, specimens with a 15% microsilica content exhibited superior compressive strength compared to those with 5% and 10%, which displayed nearly identical levels of compression resistance. It was observed that all specimens demonstrated comparable resistance at the age of 7 days; however, beyond this period, the compressive strength of the specimens containing 15% microsilica increased significantly. This trend was particularly noticeable at 28 days. By day 96, the differences in compressive resistance among various microsilica dosages became minimal, suggesting that the variations in microsilica content (5%, 10%, and 15% in this study) primarily affect early-age compressive strength rather than long-term strength. Nevertheless, additional experimental studies are required to verify these findings conclusively.

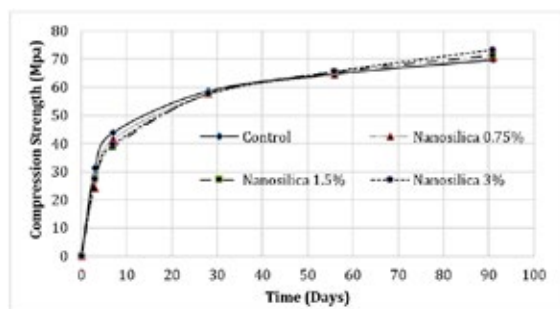


Figure 2. Compression Strength of Nano-silica

Regarding concrete samples that just incorporated nanosilica, no significant differences were observed in compression behavior, contrasting with results from concrete samples containing microsilica. Figure 2 illustrates the compression test outcomes for concrete specimens incorporating varying concentrations of nanosilica in their mix designs, specifically 0.75%, 1.5%, and 3%. These findings suggest that, unlike microsilica, the inclusion of nanosilica at these specific percentages does not notably affect the compressive strength behavior of the concrete.

To better understand the differential impacts of microsilica and nanosilica on compressive strength, Figure 3 displays the comparative resistance trends between concretes incorporating the highest percentages used in this study: 15% microsilica and 3% nanosilica, respectively. It is evident that microsilica exerts a significant influence on compressive strength when compared with both the nanosilica-enhanced concrete and the control specimen. This effect is pronounced both in the early age (28 days) and at a more advanced age (96 days). Specifically, a notable increase of 22.8% in compressive resistance at 28 days was observed for the concrete containing microsilica.

3.2.2. Indirect tensile strength (Brazilian test)

The utilization of nanosilica and microsilica in concrete compositions has been extensively studied, revealing significant enhancements in the mechanical properties

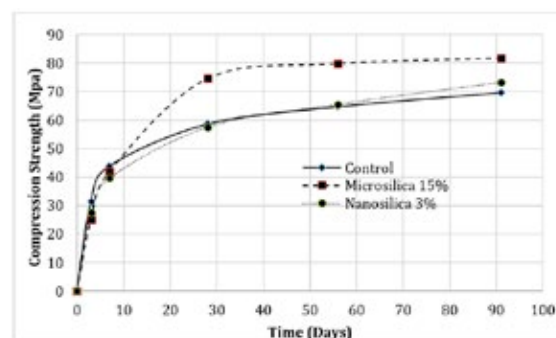


Figure 3. Compression Strength of Micro and Nano-silica

relevant to the Brazilian test for concrete. These admixtures are found to notably improve the splitting tensile strength and flexural strength of concrete. This improvement, however, can coincide with reductions in compressive strength and modulus of elasticity, illustrating the need for careful balance in composite formulations. The enhancements attributable to nanosilica and microsilica are particularly pronounced when used in tandem, suggesting a synergistic interaction that bolsters the concrete's mechanical integrity [42-44].

Moreover, the inclusion of nanosilica has been linked to considerable improvements in the compressive and tensile strengths of concrete, specifically when optimal dosages are employed. This finding is critical for early-age concrete curing, where strength development is crucial for subsequent construction phases and long-term durability [34, 45]. The combined use of nanosilica and microsilica not only contributes to superior hardened properties but also aligns with sustainable construction practices by potentially lowering the cement content required for achieving desired strength levels. This dual benefit underscores the importance of integrating these materials into modern concrete mixes for enhanced performance and sustainability [46, 47].

The results from the indirect Brazilian tensile strength tests (Fig. 4) indicate a significant enhancement in tensile strength with the incorporation of microsilica, nanosilica, and their combination. At 56 days, an increase of 28% in tensile strength was

noted for mixtures with a 15% microsilica substitution as well as for those with a combined substitution of 15% microsilica and 3% nanosilica. In both instances, the performance improvement was substantial, with only a marginal difference of one percentage point compared to mixtures that contained solely 3% nanosilica.

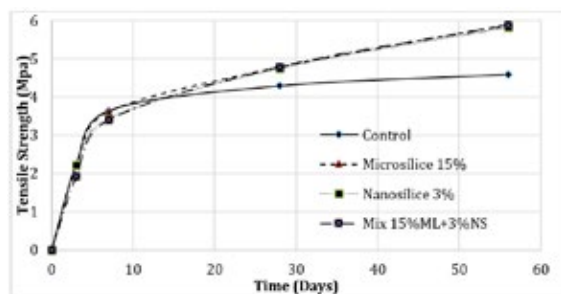


Figure 4. Tensile Strength of Micro-Nano-silica and Hybrid

3.2.3. Flexure test

The integration of nanosilica and microsilica into concrete formulations has shown significant improvements in the flexural behavior and bond strength of reinforced concrete. Research indicates that the addition of nanosilica enhances the bond between concrete and reinforcement bars, leading to increased load-carrying capacity, reduced crack widths, and improved ductility. These improvements suggest that nanosilica may serve as an effective pozzolanic admixture for enhancing structural properties in concrete applications [48]. Furthermore, experimental results have demonstrated the superior performance of nanosilica-added high-performance concrete over traditional and microsilica-added concretes, particularly in terms of the concrete-rebar interface and flexural strength [49].

In addition to the enhanced bond strength, nanosilica has also been found to significantly improve the mechanical and transport properties of lightweight aggregate concrete. Even small dosages of nanosilica result in considerable strength improvements and a reduction in transport properties. This is attributed to the compaction of the concrete matrix and modification of the air-void system, which leads to a more

refined pore structure and improved overall mechanical performance [50]. The addition of nanosilica not only contributes to higher flexural and compressive strengths but also enhances the durability of lightweight concrete structures [51].

Explain the test approach. Samples and etc. or photo.

Regarding flexural strength, the mixtures show relatively low increase values, with the highest being 7% observed for the mixture with 15% Micro silica substitution, and the lowest value of 3% for the mixture with 3% Nano silica substitution. Considering the Mixed Mixture with 15% Micro silica + 3% Nano silica substitution, the flexural strength is not statistically significant, with only a one-percentage-point increase compared to the nano silica mixture.

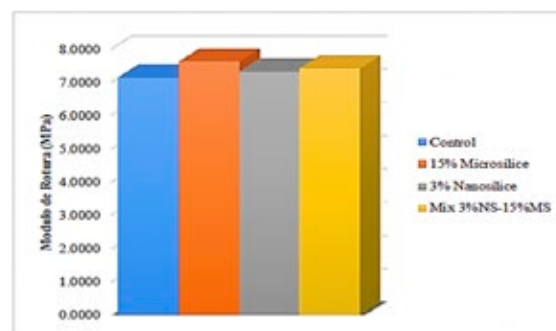


Figure 5. Flexural strength by percentage of cementitious additions at 56 day.

3.2.4. Tests for modulus of elasticity and Poisson's ratio

The modulus of elasticity (MOE) is a critical parameter for both ultra-high performance concrete (UHPC) and conventional concrete as it directly influences the structural behavior and serviceability of constructed facilities. For UHPC, the MOE is significantly impacted by the composition and characteristics of the materials used. Recent studies have proposed new equations for predicting the MOE at different ages based on the specific mixtures and local materials used, which can lead to a better understanding of the structural behavior of UHPC and its applications in design [12, 20, 52, 53].

In contrast, conventional concrete exhibits a wider range of MOE due to variations in mix design, aggregate type, and other factors. Extensive research has been conducted to evaluate the MOE of conventional concrete under different conditions, highlighting the effects of water/cement ratio, aggregate size, and type, as well as the inclusion of fly ash [54, 55]. These studies have led to the development of predictive models that provide a reliable estimation of the MOE based on the compressive strength and other easily measurable properties of concrete [56, 57].

The modulus of elasticity obtained for the different tested cementitious additions at 28 days shows an increase in its value compared to the control mixture. The mixtures with 15% microsilica and the mixed mixture with 3% nano silica and 15% microsilica are particularly representative in this regard.

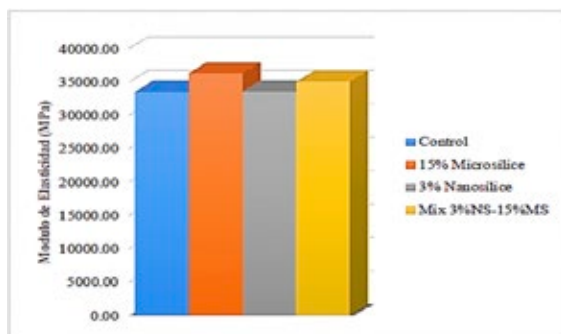


Figure 6. Modulus of Elasticity by percentage of cementitious additions at 28 days

3.2.5. X-ray Diffraction Analysis (XRD)

X-ray Diffraction Analysis (XRD) is a powerful non-destructive testing technique used to analyze the phase composition and crystalline structure of materials, including concrete. In the context of concrete tests, XRD is used to identify the types of cement hydrates and other crystalline substances formed during the hydration process of cement and to assess the presence of potentially harmful compounds like alkali-silica reaction (ASR) products or ettringite [58].

Figure 7 displays the diffractogram obtained from X-ray testing for dosages of 0.75% at ages of 3, 7, and 28 days. The peaks observed in the graph allow us to estimate the different compounds present in the analyzed sample.

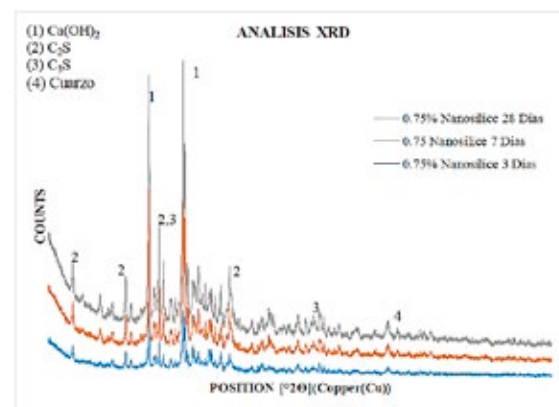


Figure 7. X-ray Diffraction (XRD) of 0.75% nano-silica at 3, 7, and 28 days

Figure 8 displays the diffractogram obtained from X-ray testing for dosages of 1.5% nano-silica at 3, 7, and 28 days. The peaks observed in the graph allow us to estimate the different compounds present in the analyzed sample.

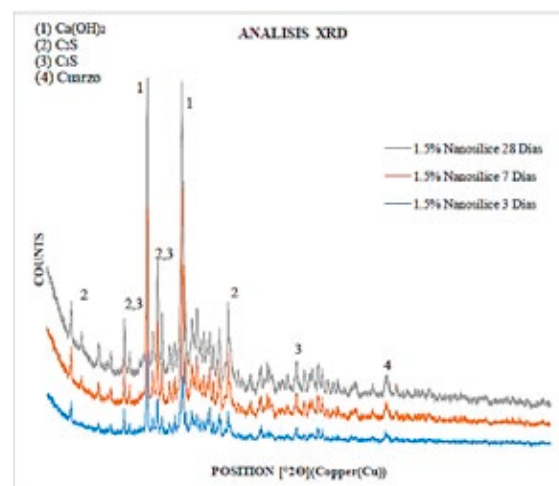


Figure 8. X-ray Diffraction (XRD) of 1.5% nano-silica at 3, 7, and 28 days

Figure 9 displays the diffractogram obtained from X-ray testing for dosages of 3% nano-silica at 3, 7, and 28 days. The peaks observed in the graph allow us to estimate the different compounds present in the analyzed sample.

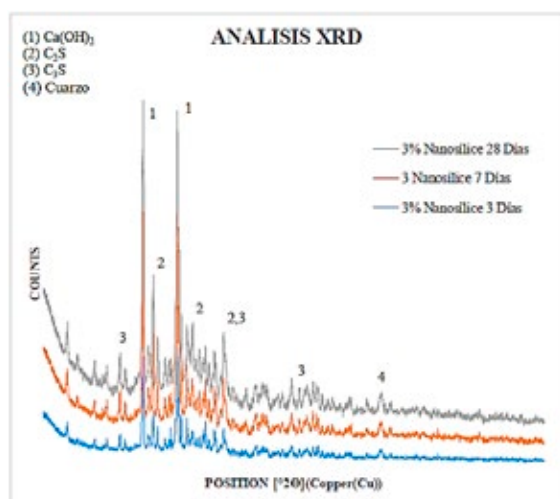


Figure 9. X-ray Diffraction (XRD) of 3% nano-silica at 3, 7, and 28 days

Figure 10 displays the diffractogram obtained from X-ray testing for dosages of 1.5% NS + 15% MS at 3, 7, and 28 days. The peaks observed in the graph allow us to estimate the different compounds present in the analyzed sample.

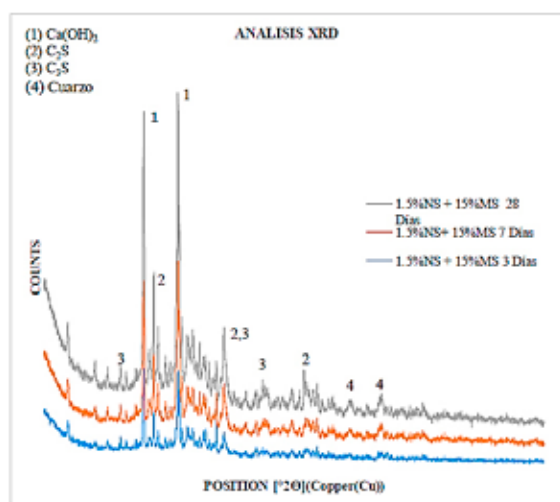


Figure 10. X-ray Diffraction (XRD) of 1.5% NS-15% MS at 3, 7, and 28 days

Figure 11 displays the diffractogram obtained from X-ray testing for dosages of 3% NS + 15% MS at 3, 7, and 28 days. The peaks observed in the graph allow us to estimate the different compounds present in the analyzed sample.

Scrivener, K., et al. [58] research has demonstrated similar trends, revealing significant alterations in the microstructure corresponding to various nano-silica dosages, paralleling the findings from this study at nano-silica concentrations of 0.75%, 1.5%, and 3% across different timeframes. The comparative examination underscores a uniform trend of enhanced pozzolanic reactions and concrete matrix densification with increased nano-silica levels, aligning with the outcomes observed in this work. Additionally, the findings from the combined application of 1.5% nano-silica and 15% micro-silica in this research Scrivener, K., et al. observations, shedding light on the combined effects of these additives, corroborating with his results on optimized mix designs for reactive powder concrete.

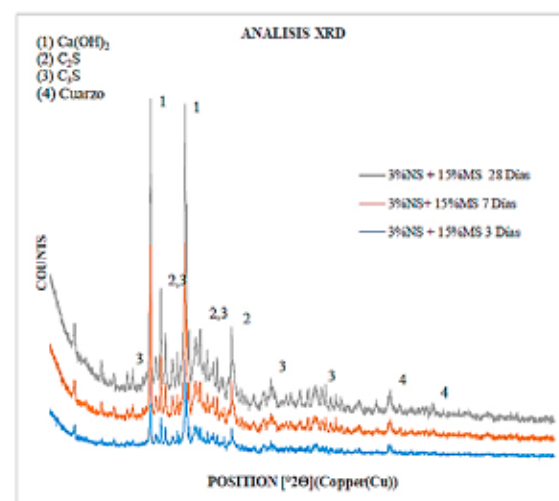


Figure 11. X-ray Diffraction (XRD) of 3% NS-15% MS at 3, 7, and 28 days

3.2.6. SEM and EDS Analysis

Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS, also known as EDX or EDXS) are complementary techniques used in materials science, biology, and various other fields to analyze the surface topography, composition, and properties of materials.

Figure 12 presents the specimens with a 1.5% nano-silica substitution for the cementitious material, indicating the percentages of each element present in the sample.

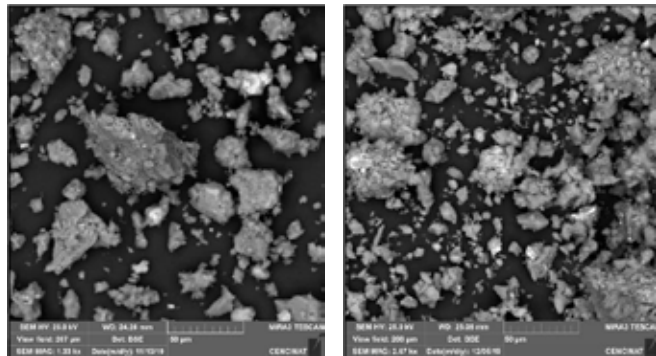


Figure 12. SEM Micrograph a) Micrograph of 1.5% nano-silica at 3 days b) Micrograph of 1.5% nano-silica at 28 days

The elements constituting the concrete sample with 3% nano-silica substitution for the cementitious material are presented, and the percentages of each element present in the sample can be seen in the table.

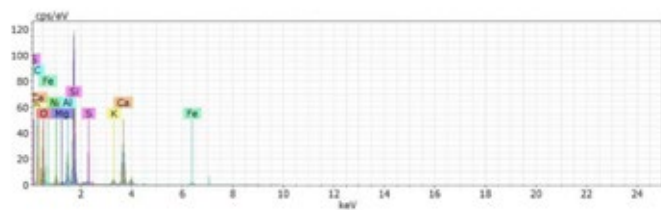


Figure 13. EDS Analysis for a nano-silica mixture with 1.5% content

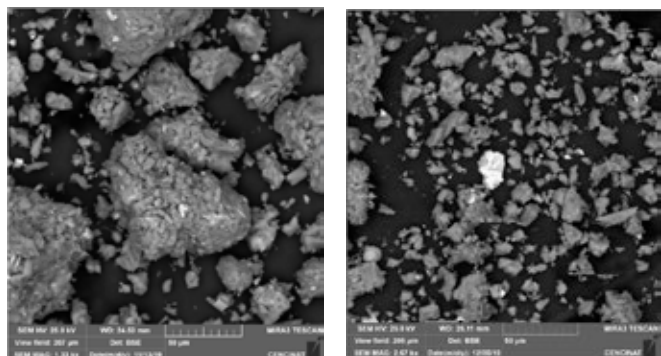


Figure 14. SEM Micrograph a) Micrograph of 3% nano-silica at 3 days b) Micrograph of 3% nano-silica at 28 days.

The elements constituting the concrete sample with a mixed incorporation of 1.5% NS + 15% MS as a substitution for the cementitious material are presented, and the percentages of each element present in the sample can be seen in the table.

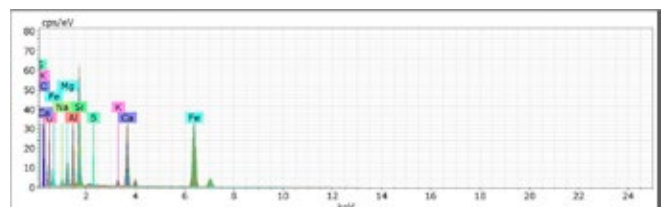


Figure 15. EDS Analysis for a nano-silica mixture with 3% content

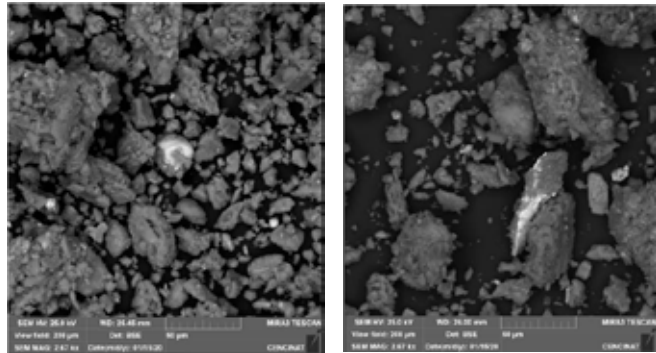


Figure 16. SEM Micrograph a) Micrograph of nano-silica and microsilica with a percentage of (1.5 % + 15%) at 3 days b) Micrograph of nano-silica and microsilica with a percentage of (1.5 % + 15%) at 28 days.

The elements constituting the concrete sample with a mixed incorporation of 3% NS + 15% MS as a substitution for the cementitious material are presented, and the percentages of each element present in the sample can be observed in the table.

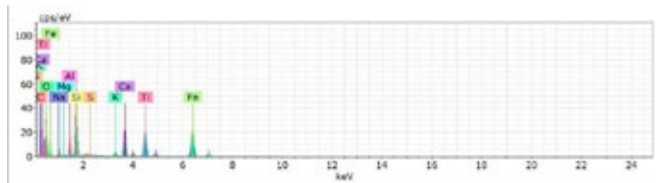


Figure 17. EDS Analysis for a mixture of 1.5% nano-silica and 15% microsilica

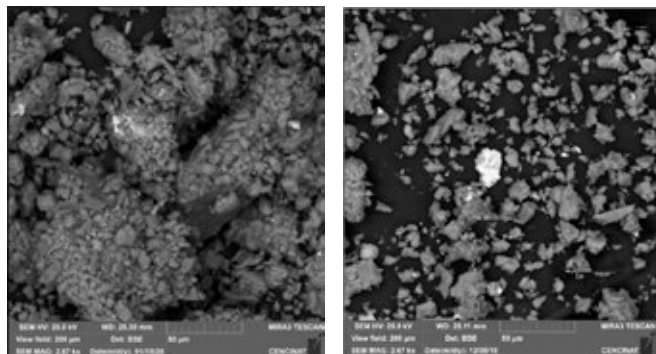


Figure 18. SEM Micrograph, a) Micrograph of the mixed mixture of 3 % nano-silica and 15 % microsilica at 3 days, b) Micrograph of the mixed mixture of 3 % nano-silica and 15 % microsilica at 28 days

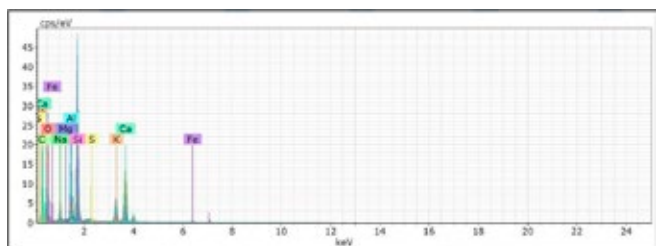


Figure 19. EDS Analysis for a mixture of 3 % nano-silica and 15 % microsilica

4. SUMMARY AND CONCLUSIONS

In this study, an experimental design was carried out that incorporated different percentages of microsilica and nanosilica. The findings revealed that the substitution of 15% microsilica resulted in a notable 28% increase in compressive strength at 28 days, and a 17% increase at 91 days, in contrast to the control mixture. On the other hand, the inclusion of 3% nanosilica showed a minor impact, improving compressive strength by only 5% at 91 days. These results led to the identification of an optimal formulation that combines 15% microsilica and 3% nanosilica, giving the concrete greater strength compared to the control mixture. This finding highlights the importance of the specific combination of microsilica and nanosilica in improving the mechanical properties of concrete, which has significant implications in the construction industry and opens new possibilities for the development of high-performance materials.

The inclusion of nanoparticles as partial substitutes for cement has been shown to significantly improve the mechanical properties of concrete, highlighting a notable increase in compressive and tensile strength. These results were achieved without significantly affecting the flexural strength, elastic modulus or Poisson's ratio compared to the base mix. Additionally, this modification has been shown to improve concrete workability by mitigating aggregate segregation and ensuring adequate concrete slump. These findings not only highlight the potential of nanoparticles in improving concrete properties, but also suggest a promising approach for the development of high-performance construction materials with practical applications in the construction industry.

In summary, the incorporation of microsilica in high-performance concrete not only improves its mechanical properties and workability, but also contributes significantly to meeting sustainability requirements. By reducing the amount of cement needed, the use of microsilica decreases the environ-

mental impact associated with cement production, including reducing carbon dioxide emissions. This positions microsilica as a viable and environmentally friendly alternative in the construction industry, in line with global sustainability objectives and current environmental regulations.

5. RECOMMENDATIONS

It is necessary to perform a larger number of test specimens as the results presented in this study are indicative rather than representative of concretes in order to obtain a statistical analysis.

It is proposed to perform various tests on specimens with different additions of nanosilica ranging from 1.5% to 3% of nanosilica, as well as micro-silica in the range of 10% to 15%. The objective is to find an optimal addition to achieve maximum strength.

It is advisable to conduct tests in the fresh state of the cementitious material with additions of nano-silica and micro-silica in order to determine normal consistency and setting times. This is because the reaction between these additives produces an exothermic reaction, leading to an increase in hydration heat.

DECLARATION OF COMPETING INTEREST

The authors hereby state that they have no known financial interests or personal relationships that may have influenced the work reported in this paper.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to express our gratitude to Dr. Alexis Debut from the Center for Nanoscience and Nanotechnology, Armed Forces University ESPE, for his support, as well as to the laboratory staff. We would also like to thank the personnel of INECYC and the material testing laboratory at the Central University of Ecuador.

6. REFERENCES

- Hossain, M.U., et al., *Circular economy and the construction industry: Existing trends, challenges and prospective framework for sustainable construction*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020. 130: p. 109948.
- Biernacki, J.J., et al., *Cements in the 21st century: Challenges, perspectives, and opportunities*. Journal of the American Ceramic Society, 2017. 100(7): p. 2746-2773.
- Feizbahr, M., S.M. Mirhosseini, and A.H. Joshaghani, *Improving the performance of conventional concrete using multi-walled carbon nanotubes*. Express Nano Letters, 2020. 1: p. 1-9.
- Alvansazyazdi, M., et al., *Evaluating the Influence of Hydrophobic Nano-Silica on Cement Mixtures for Corrosion-Resistant Concrete in Green Building and Sustainable Urban Development*. Sustainability, 2023. 15(21): p. 15311.
- Gedam, B.A., et al. *Improved durability of concrete using supplementary cementitious materials*. in *Fifth International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*. Kingston University, London, UK. 2019.
- Galeote Moreno, E., *Influencia de la nano-sílice sobre las características de un micro-hormigón de ultra alta resistencia*. 2012, Universitat Politècnica de Catalunya.
- Alvansaz, M.F., C. Bombon, and B. Rosero, *Study of the Incorporation of Nano-SiO₂ in High-Performance Concrete (HPC)*. 2022.
- Bautista-Gutierrez, K.P., et al., *Recent progress in nanomaterials for modern concrete infrastructure: Advantages and challenges*. 2019. 12(21): p. 3548.
- Alvansaz, M.F., B.A. Arico, and J.A.J.I. Arico, *Eco-friendly concrete pavers made with Silica Fume and Nanosilica Additions*. 2022. 5(1): p. 34-42.
- Ashwini, R., et al., *Compressive and flexural strength of concrete with different nano-materials: a critical review*. 2023. 2023.
- Jagadesh, P., et al., *A potential review on the influence of nanomaterials on the mechanical properties of high strength concrete*. 2023. 48(6): p. 649.
- Khorami, M., et al., *Tensile behaviour of re-inforced UHPFRC elements under serviceability conditions*. 2021. 54: p. 1-17.
- Rupasinghe, M., et al., *Nanoengineering concrete for sustainable built environment: a review*. 2011.
- Konsta-Gdoutos, M.S.J.J.o.S.C.-B.M., *Nanomaterials in self-consolidating concrete: a state-of-the-art review*. 2014. 3(3-4): p. 167-180.
- Abdalla, J.A., et al., *Influence of nanomaterials on the water absorption and chloride penetration of cement-based concrete*. 2022. 65: p. 2066-2069.
- Morales, L., et al., *Prevención de la contaminación por la fabricación de hormigones con nanopartículas*. 2020. 30: p. 309-324.
- Yépez, F., *Hormigones de ultra alto desempeño: diseño para una alta resistencia a la compresión (138 megapascal) ya la erosión-abrasión manteniendo alta trabajabilidad*. Alternativas, 2016. 17(3): p. 215-223.
- Alvansaz, M.F., B.A. Arico, and J.A. Arico, *Eco-friendly concrete pavers made with Silica Fume and Nanosilica Additions*. IN-GENIO, 2022. 5(1): p. 34-42.
- Alvansazyazdi, M. and J.A. Rosero, *The pathway of concrete improvement via nano-technology*. INGENIO, 2019. 2(1): p. 52-61.

Khorami, M., J. Navarro-Gregori, and P. Serna. *The Effect of Fiber Content on the Post-cracking Tensile Stiffness Capacity of R-UHPFRC*. in *Fibre Reinforced Concrete: Improvements and Innovations: RILEM-fib International Symposium on FRC (BEFIB) in 2020* 10. 2021. Springer.

Barrionuevo Castañeda, A.A. and J.F. Tapia Vargas, *Estudio de un hormigón Eco-Amigable de alto desempeño (HPC) fabricado con la incorporación de una mezcla entre Micro-Nano Sílice*. 2021, Quito: UCE.

Alvansaz, M.F., C. Bombon, and B.J.I. Rosero, *Estudio de la Incorporación de Nano Sílice en Concreto de Alto Desempeño (HPC)*. 2022. 5(1): p. 12-21.

Shoukry, H.J.N.H. and Composites, *Development of nano modified eco-friendly green binders for sustainable construction applications*. 2019. 24: p. 25-36.

Aly, M., *Development of an eco-friendly composite material for engineering applications*. 2012, Dublin City University.

Nasution, A., I. Imran, and M.J.P.E. Abdullah, *Improvement of concrete durability by nanomaterials*. 2015. 125: p. 608-612.

Mahmood, S., et al., *Effect of fly ash as a sustainable material on lightweight foamed concrete mixes*. 2018. 22.

Urgiles Sarmiento, T.A., *Incidencia de la adicción de fibras de acero en el hormigón empleado para pavimentos rígidos*. 2018.

Emanuel, C. *Plasticizer market update*. in *22nd Annual Vinyl Compounding Conference*. 2011.

ASTM, *ASTM C136-06: Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates*. 2006, ASTM International West Conshohocken, PA, USA.

C-161, A., *1611/C 1611M: Standard test method for slump flow of self-consolidating*

concrete. Annual Book of ASTM Standards, 2009. 4: p. 850-855.

Kimura, H., et al., *Cohesion of amorphous silica spheres: Toward a better understanding of the coagulation growth of silicate dust aggregates*. 2015. 812(1): p. 67.

Min, J., et al., *Anti-adhesive behaviors between solid hydrate and liquid aqueous phase induced by hydrophobic silica nanoparticles*. 2016. 32(37): p. 9513-9522.

Duffadar, R.D., J.M.J.J.o.c. Davis, and i. science, *Dynamic adhesion behavior of micrometer-scale particles flowing over patchy surfaces with nanoscale electrostatic heterogeneity*. 2008. 326(1): p. 18-27.

Ganesh, P., et al., *Effect of nanosilica on durability and mechanical properties of high-strength concrete*. 2016. 68(5): p. 229-236.

Ardalan, R.B., et al., *Enhancing the permeability and abrasion resistance of concrete using colloidal nano-SiO₂ oxide and spraying nanosilicon practices*. 2017. 146: p. 128-135.

Zanon, T., R. Schmalz, and F.G.d.S.J.R.A. Ferreira, *Evaluation of nanosilica effects on concrete submitted to chloride ions attack*. 2018. 8(2): p. 138-149.

Lim, S. and P.J.A.M.J. Mondal, *Effects of Nanosilica Addition on Increased Thermal Stability of Cement-Based Composite*. 2015. 112(2).

Qing, Y., et al., *A comparative study on the pozzolanic activity between nano-SiO₂ and silica fume*. 2006. 21: p. 153-157.

Hassan, M.S.J.T.O.C.E.J., *Adequacy of the ASTM C1240 specifications for nanosilica pozzolans*. 2019. 13(1).

Norhasri, M.M., et al., *Applications of using nano material in concrete: A review*. 2017. 133: p. 91-97.

Li, W., et al., *Effects of nano-particles on failure process and microstructural properties of recycled aggregate concrete*. 2017. 142: p. 42-50.

Niş, A., N.A. Eren, and A.J.C.I. Çevik, *Effects of nanosilica and steel fibers on the impact resistance of slag based self-compacting alkali-activated concrete*. 2021. 47(17): p. 23905-23918.

Golewski, G.L.J.E., *Combined effect of coal fly ash (CFA) and nanosilica (nS) on the strength parameters and microstructural properties of eco-friendly concrete*. 2022. 16(1): p. 452.

Senff, L., et al., *Effect of nanosilica and microsilica on microstructure and hardened properties of cement pastes and mortars*. 2010. 109(2): p. 104-110.

Adamu, I., et al., *Effect of nanosilica on the mechanical and microstructural properties of a normal strength concrete produced in Nigeria*. 2020. 39(3): p. 710-720.

Torabian Isfahani, F., et al., *Effects of nanosilica on compressive strength and durability properties of concrete with different water to binder ratios*. 2016. 2016.

Chithra, S., et al., *The effect of Colloidal Nano-silica on workability, mechanical and durability properties of High Performance Concrete with Copper slag as partial fine aggregate*. 2016. 113: p. 794-804.

Varghese, L., V. Kanta Rao, and L. Parameswaran. *Effect of nanosilica and microsilica on bond and flexural behaviour of reinforced concrete*. in *Recent Advances in Structural Engineering, Volume 2: Select Proceedings of SEC 2016*. 2019. Springer.

Kancharla, R., et al., *Flexural behavior performance of reinforced concrete slabs*

mixed with nano-and microsilica. 2021. 2021: p. 1-11.

Abd Elrahman, M., et al., *Influence of nanosilica on mechanical properties, sorptivity, and microstructure of lightweight concrete*. 2019. 12(19): p. 3078.

Gesoglu, M., et al., *Properties of low binder ultra-high performance cementitious composites: Comparison of nanosilica and microsilica*. 2016. 102: p. 706-713.

Als Salman, A., et al., *Evaluation of modulus of elasticity of ultra-high performance concrete*. 2017. 153: p. 918-928.

Ouyang, X., et al., *Experimental investigation and prediction of elastic modulus of ultra-high performance concrete (UHPC) based on its composition*. 2020. 138: p. 106241.

Yıldırım, H., O.J.C. Sengul, and b. materials, *Modulus of elasticity of standard and normal concretes*. 2011. 25(4): p. 1645-1652.

Noguchi, T., et al., *A practical equation for elastic modulus of concrete*. 2009. 106(5): p. 690.

Shafieifar, M., et al., *Experimental and numerical study on mechanical properties of Ultra High Performance Concrete (UHPC)*. 2017. 156: p. 402-411.

de Bejar, L.A.J.E.F.M., *Virtual estimation of the Griffith's modulus and cohesive strength of ultra-high performance concrete*. 2019. 216: p. 106488.

Scrivener, K., et al., *Quantitative study of Portland cement hydration by X-ray diffraction/Rietveld analysis and independent methods*. 2004. 34(9): p. 1541-1547.

Neuroinclusión en la Arquitectura: El Rol de la Arquitectura en la Mejora de la Salud Emocional y Mental de Individuos con TEA y Neurodivergentes

Neuroinclusion in Architecture: The Role of Architecture in Improving the Emotional and Mental Health of Individuals with ASD and Neurodivergents

EÍDOS N°24
Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo
ISSN: 1390-5007
revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos

¹Diana Patricia Chávez López, ²Jhonny Leonardo Álvarez Ochoa

¹Universidad UTE, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Departamento de Arquitectura, Calle Rumipamba S/N y Bourgeois, Quito, Ecuador. dianap.chavez@ute.edu.ec. ORCID: 0009-0005-0639-8560

²Universidad UTE, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Departamento de Arquitectura, Calle Rumipamba S/N y Bourgeois, Quito, Ecuador. jhonny.alvarez@ute.edu.ec. ORCID: 0000-0003-4470-7385

Resumen:

La convergencia entre el diseño arquitectónico y las necesidades del espectro autista es un proceso en constante evolución, que demanda flexibilidad conceptual y práctica. La adaptabilidad, la concienciación y la interdisciplinariedad son los pilares que sustentan una arquitectura verdaderamente inclusiva y accesible para personas en el espectro autista. Al abrazar estos principios, podemos aspirar a un entorno construido que no solo refleje la diversidad, sino que también facilite una participación plena y enriquecedora para todos. La belleza reside en la diversidad, y la arquitectura debe ser planificada de forma individual, reconociendo que cada ser humano es único.

Palabras claves: Autismo, Diseño Arquitectónico, Inclusión, Adaptabilidad, Accesibilidad Cognitiva, Neurodiversidad.

Abstract:

The convergence between architectural design and the needs of the autism spectrum is an ever-evolving process that demands conceptual and practical flexibility. Adaptability, awareness, and interdisciplinary collaboration are the pillars that support truly inclusive and accessible architecture for individuals on the autism spectrum. By embracing these principles, we can aspire to a built environment that not only reflects diversity but also facilitates full and enriching participation for everyone. Beauty lies in diversity, and architecture should be planned individually, acknowledging that each human being is unique.

Keywords: Autism, Architectural Design, Inclusivity, Adaptability, Cognitive Accessibility, Neurodiversity.

1. INTRODUCCIÓN. COMPRENDIENDO EL ESPECTRO AUTISTA

El entorno construido con sus espacios arquitectónicos desempeña un papel fundamental en la vida de las personas. Desde los lugares donde vivimos hasta los que

frecuentamos en nuestra vida cotidiana, la arquitectura tiene un impacto significativo en nuestra salud emocional, sensorial y mental. Este impacto se vuelve aún más crucial cuando consideramos a personas con neurodivergencias, en particular, aquellos diagnosticados con Trastorno del

Espectro Autista “TEA” (Holahan, 2012). La arquitectura puede ser una poderosa influencia en su bienestar, brindando la oportunidad de crear espacios inclusivos, terapéuticos y estimulantes que se adapten a sus necesidades específicas.

La relación entre la arquitectura y la salud no es un tema nuevo en la investigación, pero ha presentado un creciente reconocimiento de su importancia en los últimos años. El entorno influye tanto en el bienestar físico como en el emocional y mental de las personas.

Para aquellos con neurodivergencias, como el TEA, los desafíos pueden ser aún mayores. La falta de comprensión y un diseño inadecuado de espacios puede limitar su calidad de vida y participación en la sociedad, por lo que es crucial explorar cómo la arquitectura puede ser una herramienta que permita mitigar dichos desafíos y promover un entorno más inclusivo.

Es crucial dar voz y enfrentar cómo la arquitectura impacta la salud de personas neurodivergentes, por lo que es fundamental considerar cómo adaptar el diseño arquitectónico para mejorar el bienestar emocional, sensorial y mental de individuos con TEA, promoviendo así su integración y participación social.

Este artículo tiene como principal objetivo analizar y entender las estrategias de diseño arquitectónico que buscan satisfacer las necesidades específicas de grupos sociales con neurodivergencias.

Es así como se procura adaptar un enfoque metodológico centrado en la empatía y la observación directa para comprender profundamente cómo las personas con TEA perciben y experimentan su entorno. Esta aproximación nos permite captar las sutilezas de su interacción con los espacios físicos, lo que es crucial para diseñar espacios que realmente respondan a sus necesidades emocionales y mentales.

Se aplicaron técnicas como la entrevista y el análisis de comportamiento en situaciones reales, para obtener una perspectiva detallada sobre sus experiencias sensoriales y cognitivas.

Primero, se buscó identificar y entender los desafíos específicos que las personas con TEA enfrentan diariamente, como la hipersensibilidad a estímulos sensoriales o dificultades con la transición entre diferentes tipos de ambientes; desafíos que pueden llevar a respuestas de estrés o ansiedad, afectando su bienestar emocional y mental y, segundo, traducir estos conocimientos en recomendaciones de diseño arquitectónico que promuevan entornos más inclusivos y terapéuticos.

Esto incluye la creación de espacios que no solo minimicen el estrés y la ansiedad mediante la reducción de estímulos abrumadores, sino que también fomenten la autonomía y la seguridad, permitiendo a estas personas tener un control más efectivo sobre su interacción con el entorno.

Al integrar estos conocimientos en el diseño arquitectónico, se plantea contribuir a la creación de espacios que no solo sean físicamente accesibles, sino también emocionalmente acogedores, que ofrezcan un refugio seguro y estimulante para respaldar el desarrollo personal y social, con la creación de entornos diseñados que actúen como catalizadores para una mejor calidad de vida, y permitan a las personas con TEA participar plenamente en la sociedad, de manera significativa y enriquecedora.

Así sería posible demostrar cómo la metodología centrada en la empatía y la observación directa contribuye al diseño de entornos adaptados para personas con TEA, que promueven bienestar emocional y mental a través de la arquitectura.

Investigaciones han mostrado que aspectos como la iluminación, la acústica y la elección de materiales impactan directamente el bienestar y el estado de ánimo, pero, a pesar de estos avances, aún falta

comprender cómo adaptar estos principios eficazmente para las necesidades de personas con TEA y otras neurodivergencias.

Es así como, a través de la presente investigación, se ha buscado responder: ¿De qué manera pueden diseñarse los espacios arquitectónicos para mejorar significativamente el bienestar de esta población?

Al profundizar en esta interrogante, hemos identificado estrategias de diseño que no solo apuntan a crear ambientes inclusivos y terapéuticos, sino que también buscan promover activamente la participación y mejorar la calidad de vida de personas con TEA. Así, la arquitectura actúa como agente de cambio significativo en la vida de los individuos neurodivergentes (Castañeda-Sifuentes, Maya-López, & Leyva-Picazo, 2022).

Mediante la aplicación de estrategias de diseño inclusivo y adaptativo, extendemos su impacto potencial más allá de esta comunidad, estableciendo un modelo para entornos construidos que fomenten la inclusión y el bienestar universal. Esta transformación se fundamenta en la creación de experiencias significativas a través del espacio físico, lo que recalca el poder de la arquitectura para influir y mejorar la vida cotidiana.

La noción de “experiencia”, se define como un conocimiento que surge de haber interactuado, presenciado, vivido o sentido algo en particular en entornos físicos (Holahan, 2012). Según Norberg Schulz (2008), los seres humanos necesitan estar inmersos repetidamente en un espacio para acumular diversas vivencias que se almacenan en la memoria y se aplican al experimentar otros lugares.

Los arquitectos, conscientes de este proceso, diseñan espacios que no solo cumplen con requisitos funcionales, sino que también buscan evocar experiencias específicas que resuenen con las percepciones y emociones de los usuarios. Al analizar cómo cada persona experimenta un lugar,

es crucial reconocer que cada individuo interpreta su entorno de manera única, lo que subraya la importancia de diseñar con una perspectiva centrada en el usuario.

Este enfoque personalizado asegura que los espacios no solo sean accesibles, sino que también enriquezcan la interacción humana y fortalezcan la conexión emocional con el entorno, promoviendo así un impacto duradero en su bienestar y percepción del mundo.

2. AUTISMO Y AMBIENTES DE APRENDIZAJE. CLAVES PARA UN ENTORNO MÁS INCLUSIVO

Cada individuo que forma parte del Espectro Autista (TEA) posee una singularidad en su estilo de aprendizaje, y requiere enfoques pedagógicos adaptados, y estrategias personalizadas para facilitar un aprendizaje efectivo.

La adaptación de estrategias educativas, la provisión de apoyos individualizados y la creación de entornos educativos inclusivos son pilares esenciales para abordar desafíos específicos y fomentar un aprendizaje significativo en las personas con TEA (Castañeda-Sifuentes, Maya-López, & Leyva-Picazo, 2022).

El proceso de aprendizaje, entendido como la adquisición de conocimientos, el desarrollo de habilidades y estrategias, así como la adopción de valores o posturas, se ve influido significativamente por tres aspectos clave identificados por Sánchez (2019), en niños con autismo. Estos aspectos incluyen dificultades en las interacciones sociales, desafíos en la comunicación y rigidez mental.

Las dificultades en las interacciones sociales abarcan desde limitaciones en la comunicación no verbal hasta problemas en las relaciones con pares, en donde se destaca la importancia del entorno construido para facilitar la comunicación y la interacción. Entornos arquitectónicos di-

señados considerando dichas dificultades, ofrecen espacios que fomentan la expresión facial y facilitan la comunicación no verbal, contribuyendo así a mejorar las interacciones sociales.

En el ámbito de las dificultades en la comunicación, los entornos educativos, que incorporan diseño acústico adecuado y tecnología de asistencia, pueden desempeñar un papel crucial. Estos entornos pueden atenuar barreras comunicativas al abordar problemas como el lenguaje ecolálico¹ y estereotipado, facilitando así un ambiente propicio para el desarrollo del lenguaje.

La inflexibilidad mental es una característica común en personas con TEA por lo que, crear espacios que permitan anticipar eventos, adaptarse a cambios y ofrecer diversas experiencias, es esencial para fomentar su participación y exploración del entorno.

La variabilidad en el rendimiento académico y las necesidades de apoyo individualizadas hacen que el entorno construido juegue un papel crucial en la creación de ambientes que fomenten el aprendizaje y el desarrollo óptimo. En este sentido, el diseño arquitectónico inclusivo, se convierte en una herramienta poderosa.

Espacios educativos que integran elementos como áreas de descanso sensorial, zonas de comunicación claramente definidas y estructuras flexibles, pueden contribuir significativamente a proporcionar el apoyo necesario y promover un entorno propicio para el desarrollo integral.

La interacción entre el Espectro Autista y el entorno construido destaca la relevancia del diseño arquitectónico en el proceso de aprendizaje (CONECTEA, 2022).

Las adaptaciones en entornos educativos permiten abordar diversas dificultades,

desde las interacciones sociales hasta la rigidez mental; sin embargo, surgen las preguntas de ¿cómo podemos llevar a cabo una implementación más generalizada de estos principios en la planificación arquitectónica y educativa?, ¿cuáles son los desafíos prácticos y económicos asociados con la creación de entornos inclusivos?, ¿cómo podemos garantizar que la diversidad de necesidades individuales se refleje en el diseño arquitectónico de manera efectiva?

Este debate invita a explorar estrategias prácticas y perspectivas diversas para avanzar hacia entornos construidos más accesibles e inclusivos. Cada lugar donde aprendemos o habitamos, tiene sus propios objetivos; el desafío se encuentra en organizar todos los elementos y las personas, de acuerdo con lo que queremos aprender.

Según Picardo (2014: 108), hay dos partes importantes en estos lugares de aprendizaje: la primera se enfoca en qué aprenderemos, cómo creceremos en nuestra mente, en cómo nos relacionaremos con otros y en cómo nos moveremos. La idea es pensar en actividades que se adapten a lo que necesitamos y en lo que somos buenos.

La segunda parte se centra en cómo se siente el lugar donde aprendemos; habla sobre ¿cómo se escucha, qué tan brillante es y si posee suficiente aire fresco.

También analiza la accesibilidad al llegar a la escuela o al aula, o el tener cosas que faciliten las actividades académicas diarias de sus estudiantes, como algo especial para ellos.

Mostafa (2008) nos cuenta sobre la importancia de cómo está construido un lugar para personas con autismo y hace referencia a las diferentes ideas de cómo se podría dividir el espacio, organizar la for-

1 La ecolalia es un trastorno del habla que consiste en la repetición involuntaria e inconsciente de palabras, frases, trozos de conversación, canciones que el paciente ecolálico ha escuchado de personas cercanas, radio y/o televisión. La palabra ecolalia proviene del latín: *lalia*: hablar, *eco*: repetir. (Progressive Pediatric Therapy, 2021).

ma para que este se encuentre ordenado y sea seguro, y considerar qué cosas pueden ayudar a las personas con autismo a sentirse cómodas. Todo esto muestra cómo un lugar bien pensado y organizado puede hacer que el aprender sea más fácil y agradable para las personas con TEA.

3. CRITERIOS ESPACIALES DE ENTORNOS ACCESIBLES PARA PERSONAS CON TEA

Las personas con Trastorno del Espectro Autista (TEA) enfrentan desafíos al moverse en entornos, especialmente nuevos, debido a las dificultades mentales que pueden experimentar. A lo largo del tiempo, varios estudios han identificado pautas de diseño con el propósito de crear espacios más acogedores. Dichas pautas, aplicables en diferentes escalas, incluso en entornos urbanos, se dividen en tres grupos: calidad sensorial, inteligibilidad y orientación.

La calidad sensorial se enfoca en mejorar la percepción en entornos construidos, reduciendo el impacto de sonidos, vistas y olores. Esto implica proporcionar áreas tranquilas para evitar sobrecargas sensoriales, espacios de transición para facilitar la movilidad entre experiencias, y zonas de relajación para manejar la sobrecarga si es necesario.

La inteligibilidad² del entorno se logra mediante un diseño simple, que facilita la navegación independiente para las personas con TEA. Esto incluye estructuras y diseños claros que permiten comprender y prever lo que sucederá en un lugar, evitando sorpresas y proporcionando una visión clara y comprensible de todo el entorno.

Además, el uso de apoyos visuales, como imágenes, símbolos o colores, se emplea para mejorar la comprensión del entorno. Estos apoyos visuales pueden ofrecer información sobre situaciones complejas o

indicar actividades en diferentes áreas, ayudando a las personas a comprender mejor el ambiente, fomentando su independencia e interés en los temas presentados.

En la exploración del diseño arquitectónico orientado al autismo, se profundiza en la aplicación de los siete criterios propuestos por Magda Mostafa (2008):

1. La secuenciación espacial, se refiere a la disposición ordenada y lógica de los elementos arquitectónicos, crucial para proporcionar una estructura comprensible para las personas en el espectro autista.
2. La compartimentación, por otro lado, se centra en la creación de espacios delimitados y claramente definidos, facilitando la orientación y reduciendo la sobreestimulación sensorial.
3. Los espacios de transición, emergen como un componente esencial, permitiendo una conexión fluida entre áreas diferentes. Esto no solo facilita la movilidad, sino que también contribuye a una experiencia menos abrumadora al cambiar de ambiente.
4. La concepción de espacios de escape, se convierte en un aspecto vital, proporcionando refugios tranquilos y seguros donde los individuos pueden retirarse en momentos de agitación sensorial.
5. La consideración de zonas sensitivas, aborda la necesidad de comprender y gestionar las sensibilidades sensoriales únicas de las personas en el espectro. Esto abarca desde la iluminación y la temperatura hasta la selección de materiales, y crea entornos que minimicen la estimulación no deseada.

2 Aplicado a la arquitectura, la inteligibilidad remite a la capacidad de un edificio de comunicar su función, su organización espacial y su estructura, de forma clara y directa (Estudio Huarte - Virguez Lalli, 2023).

6. La acústica, se vuelve crucial, reconociendo la susceptibilidad a sonidos intensos o imprevistos, y promueve la implementación de soluciones que mitiguen estas incomodidades.
7. La seguridad, como último criterio, va más allá de la prevención de riesgos físicos. Se enfoca en la creación de entornos predecibles y estables, lo que contribuye a reducir la ansiedad y mejorar la experiencia espacial para aquellos en el espectro autista.

En la distinción entre espacios "primarios" y "secundarios", surge la necesidad de flexibilidad y es en este caso donde podemos analizar un equipamiento referencial de uso común, como lo son los centros educativos, los cuales, al encontrarse en la categoría de personalización limitada, demandan un enfoque que permita adaptar el entorno según las necesidades cambiantes de los estudiantes.

Este enfoque adaptable no solo beneficia a aquellos en el espectro autista, sino que también destaca la importancia de un diseño inclusivo que atienda diversas condiciones.

Dentro de las categorías generales que abarcan los criterios de Magda Mostafa (2008), se destaca la importancia de herramientas arquitectónicas básicas:

- La formación de líneas de vista claras.
- La definición de formas y superficies.
- La creación de espacios funcionales que se convierten en la piedra angular para proporcionar una estructura comprensible y predecible.
- La materialidad, desde suelos hasta techos y paredes, así como la distribución de elementos de mobiliario y puertas, contribuye a la creación de entornos que fomentan la predictibilidad y la comodidad.

- La atención a los detalles, como acabados, texturas, patrones y colores, adquiere una relevancia destacada, ya que estos elementos no solo contribuyen estéticamente, sino que también desempeñan un papel crucial como herramientas de aprendizaje y terapia.
- La transparencia, entendida como un principio fundamental, se posiciona como una estrategia central para la arquitectura adaptada al autismo, al permitir anticipar y comprender el entorno circundante.

Las estrategias de diseño desarrolladas se basan en tácticas extraídas de la literatura especializada, destacándose especialmente el libro *Designing for Autism Spectrum Disorders* de Gaines, Bourne, Pearson y Kleibrink (2016). Este recurso proporciona una base sólida de conocimientos, combinando la teoría con la práctica a través de la interpretación de casos de estudio y análisis de espacios visitados. De manera complementaria, la investigación de Stern, Munn, y Alexander (2019) profundiza en el estudio de las necesidades de diseño interior específicas para niños con un trastorno del espectro autista, explorando cómo los entornos adaptados pueden optimizar su desarrollo y bienestar.

Estas investigaciones colectivas enriquecen nuestra comprensión del diseño inclusivo, permitiendo una síntesis de ideas que refleja tanto las tendencias actuales como las necesidades emergentes en arquitectura para la neurodiversidad. Además, los ejemplos presentados en dichos estudios permiten contextualizar las estrategias dentro de entornos reales, demostrando cómo pueden ser adaptadas y aplicadas efectivamente en proyectos arquitectónicos.

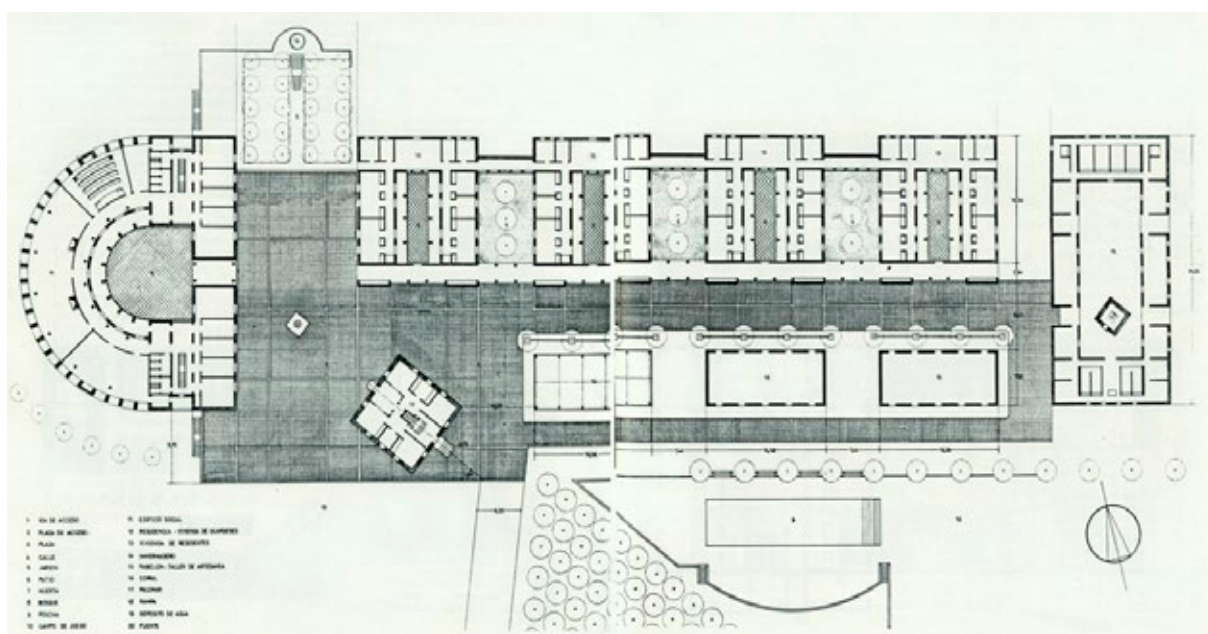
Este enfoque no solo subraya la aplicabilidad práctica de las teorías del diseño inclusivo, sino que también destaca la importancia de integrar estas considera-

Utilizando la granja-residencia de Villatobas (Riviere Gómez, 1982), como un ejemplo práctico, este enfoque se materializa al destacar la aplicabilidad de las estrategias en el rediseño de espacios preexistentes, demostrando efectivamente la posibilidad de alcanzar una arquitectura accesible para el espectro autista.

Esta versión conecta de manera más directa la teoría con su aplicación práctica, mostrando cómo el conocimiento extraído de la literatura es esencial para la implementación en proyectos reales, y cómo, a través de este tipo de proyectos es posible reflejar los principios de adaptabilidad y accesibilidad en la arquitectura.

Esta implementación de estrategias arquitectónicas adaptativas se ve reforzada por un enfoque que pone énfasis en la concienciación y la comprensión de las complejidades del del espectro autista. La capacitación de los diferentes actores, que participan del proceso de diseño de estos espacios (arquitectos, educadores y personal médico), es fundamental para asegurar que la adaptabilidad de los espacios no solo responda a necesidades técnicas, sino también a un entendimiento profundo de las necesidades de sus usuarios.

Este conocimiento compartido no solo facilita la implementación efectiva de las



CHÁVEZ, D., ÁLVAREZ, J. - Neuroinclusión en la Arquitectura. pp. 111-127 ISSN:1390-5007

estrategias de diseño, sino que además fomenta un cambio cultural hacia la inclusión y la creación consciente de entornos verdaderamente accesibles.

En un ámbito más amplio, la interdisciplinariedad emerge como un componente vital que enriquece este enfoque. La colaboración entre arquitectos, profesionales de la salud, terapeutas ocupacionales y las familias, permite una comprensión holística de las necesidades y desafíos de las personas en el espectro autista.

Esta sinergia interdisciplinaria conduce a soluciones integradoras y efectivas, que refleja la complejidad del espectro autista y enfatiza la necesidad de soluciones que se alimenten de una amplia gama de perspectivas y conocimientos.

Este enfoque multidisciplinario no solo reconoce la diversidad de necesidades, sino que también aboga por un diseño arquitectónico que sea genuinamente inclusivo y adaptativo, y provea entornos que mejoren la vida de todos los usuarios.

4. EL SISTEMA TEACCH EN LA ARQUITECTURA

Teacch, acrónimo de Treatment and Education of Autistic and Communication Related Handicapped Children (Khelifa & Kentour, 2021; Sánchez Soriano, 2019; Teacch, 2011), es un enfoque terapéutico y educativo, fundamental en la atención a personas en el espectro del autismo, desde su desarrollo en la década de 1970. Este sistema subraya la importancia de la evaluación personalizada, para diseñar programas adaptados a las complejidades individuales de cada persona, y ha evolucionado para incluir aplicaciones en diseño arquitectónico.

Un componente clave de Teacch es la creación de entornos estructurados y organizados, lo que incluye la disposición estratégica de espacios, una clara señalización visual y la integración de apoyos vi-

suales, elementos que buscan facilitar una disposición de áreas que mejore la orientación y la predictibilidad, lo cual es crucial en el diseño arquitectónico, especialmente en la planificación de entornos educativos flexibles y capaces de adaptarse a las necesidades cambiantes de sus usuarios.

La adaptabilidad es un pilar central de Teacch, que reconoce la necesidad de modificar los entornos educativos con el tiempo. Esto implica diseñar espacios que permitan modificaciones fáciles para mantener su relevancia y eficacia. Además, la colaboración con familias y cuidadores es vital, al integrar el entorno educativo con la vida diaria en el hogar. Un diseño arquitectónico efectivo facilita esta colaboración y promueve transiciones fluidas entre el aprendizaje en el aula y las actividades domésticas.

Aplicar los principios de Teacch en el diseño arquitectónico, abre la posibilidad de crear entornos inclusivos que fomenten la independencia y la participación de sus usuarios. Integrar estos principios no solo implica adaptar el entorno físico, sino también cultivar un ambiente que promueva la comprensión y aceptación de la neurodiversidad.

Al hacerlo, buscamos crear espacios acogedores que brinden soporte y oportunidades para todos, especialmente para niños autistas y personas con discapacidades de comunicación.

4.1 Granja Residencia en Villatobas (Toledo) para Autistas de APNA

En la práctica, la aplicación de los principios del sistema Teacch en la arquitectura se ve claramente ejemplificada en proyectos específicos, diseñados para satisfacer las necesidades de personas con autismo. Un caso de estudio destacado es la Granja Residencia en Villatobas, situada en Toledo (Riviere Gómez, 1982).

Este proyecto no solo refleja la importancia de un diseño estructurado y bien planifi-

cado, sino que también demuestra cómo se pueden implementar en la realidad los conceptos de adaptabilidad y colaboración, en el diseño arquitectónico.

La Granja Residencia en Villatobas ocupa un terreno alargado cerca del pueblo de Villatobas, orientado de este a oeste, con el acceso principal por el lado sur. Este complejo integrado está diseñado para maximizar la independencia y el bienestar de sus residentes; cuenta con varios edificios que incluyen un centro social con áreas de descanso, comedor, aulas educativas, zonas recreativas, oficinas y servicios compartidos. Además, dispone de una residencia para el personal de seguridad y padres, cuatro unidades de vivienda que albergan hasta a 44 residentes, y áreas laborales como establos, corrales, almacenes de alimentos y herramientas, un huerto, un invernadero y dos talleres artesanales.

El complejo también está equipado con una piscina, un campo de juegos y un jardín, elementos que contribuyen a un entorno terapéutico y educativo completo, que promueve la interacción y el desarrollo de habilidades para la vida diaria y el trabajo en un entorno rural.

El objetivo es proporcionar un espacio seguro y estructurado que fomente la integración social y la independencia, aspectos que suelen ser difíciles para personas con TEA.

La configuración del espacio busca reducir el estrés y la ansiedad, con un ambiente predecible y con una estructura clara. Las actividades agrícolas y las tareas relacionadas con el campo ofrecen una rutina diaria, lo cual es beneficioso para personas que a menudo responden bien a horarios consistentes y previsibles.

Además de las actividades agrícolas, el proyecto incluye sesiones de fisioterapia y artesanía, proporcionando diversas alternativas para que los residentes desarrollen habilidades motoras finas y gruesas, a la

vez que participan en actividades creativas que pueden ser terapéuticas.

Las áreas de deporte y recreación están diseñadas para promover la actividad física y el desarrollo social, lo que fomenta la interacción entre los residentes; es decir, el diseño de los edificios y del entorno está pensado con el propósito de satisfacer las necesidades sensoriales de las personas con TEA.

En esencia, la disposición de los pabellones y las pasarelas entre ellos permite un fácil acceso y tránsito, mientras que los espacios de uso común promueven la convivencia y el sentido de comunidad.

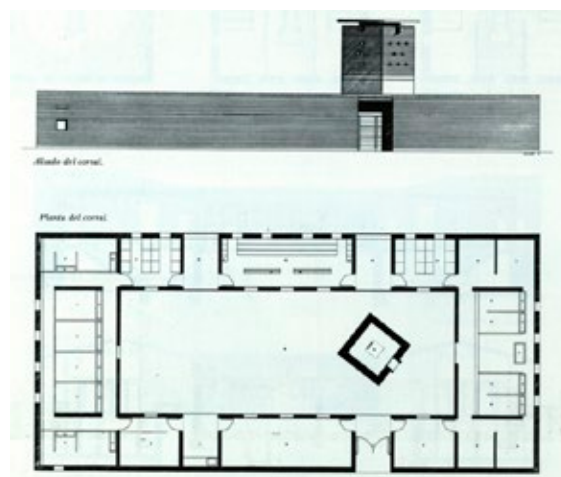


Ilustración 2. Planta y alzado del corral, Granja Residencia en Villatobas, (Riviere Gómez, 1982).

4.2 Netley School for Autistic, London by Haverstock Associates

En el corazón de la Escuela Primaria de Netley se encuentra una instalación especializada, que representa un avance significativo en el diseño arquitectónico adaptado para las necesidades de personas con autismo. La Unidad de Autismo de Netley (Sulaiman Shareef, 2016), es un ejemplo destacado de cómo el espacio físico puede ser meticulosamente planificado para servir de manera efectiva a su población objetivo.

Diseñada dentro de las limitaciones de un terreno compacto, esta estructura de 4300 pies cuadrados, adopta una forma de “L”,

que no solo optimiza el uso del espacio limitado, sino que también encapsula un patio seguro y controlado.

Este diseño cuidadoso se complementa con características de seguridad, accesibilidad y confort, tales como accesos controlados electrónicamente, aulas multidimensionales y sistemas de iluminación y ventilación que priorizan tanto la funcionalidad como el bienestar de sus usuarios.

La unidad no solo sirve como un espacio educativo para niños, sino que también alberga programas para adultos, demostrando un enfoque holístico y comunitario hacia la educación especializada.

Al interior, la unidad alberga dos aulas y una sala de terapia multiuso, junto con oficinas para el personal, baños y áreas de almacenamiento. Además, hay una unidad de educación para adultos que incluye una guardería, usada por la Autoridad Educativa Local de Camden, como instalación comunitaria.

Las aulas están diseñadas para ser espacios tridimensionales y versátiles, con diferentes áreas claramente definidas, que permiten una diversidad de actividades educativas y terapéuticas.

Cada aula cuenta con zonas para trabajo individual o para aislamiento y áreas separadas para actividades que requieren agua.

En cuanto a la iluminación y ventilación, las aulas disponen de amplias ventanas, del suelo al techo, que no solo proporcionan luz natural abundante sino también vistas del patio. Las claraboyas en la parte trasera añaden luz adicional y ventilación durante el día.

A pesar de las ventajas de tener múltiples aberturas, existe el riesgo de que estas puedan distraer a los niños, por lo que se utilizan persianas o papel opaco para minimizar las distracciones.

Los techos altos, en todas las áreas mejoran la sensación de amplitud, y la iluminación artificial está diseñada para simular la dirección de la luz natural, creando un ambiente cómodo y visualmente agradable.

Las paredes y los pisos en las áreas comunes y las aulas presentan colores suaves y neutros, con detalles como un vestíbulo de entrada en tonos vivos o una pared curva verde que crea un ambiente acogedor pero tranquilo.

Aunque no se incluyeron medidas específicas de sostenibilidad, el uso eficiente de materiales como aislamiento de alta calidad, ventilación natural, y claraboyas, contribuye a la eficiencia energética del edificio.

Todos los materiales externos requieren poco mantenimiento, con revestimientos de madera protegidos por amplios aleros y otros acabados, que incluyen ladrillo, aluminio y techos de pizarra.

El diseño también incorpora paredes inclinadas y curvas, como medidas de seguridad adicionales para proteger a los niños.

4.3 New Struan– Centro para Autismo, Alloa, Escocia de Aitken & Turnbull

New Struan es una institución educativa independiente, que opera bajo la dirección de la Sociedad Escocesa de Autismo (SSA). Más que una escuela, este establecimiento se erige como un Centro Nacional de Autismo, un conglomerado multifacético que alberga diversas funciones vitales, entre las cuales destacan un servicio de asesoramiento especializado en autismo, un centro de enseñanza y formación enfocado en esta condición, un servicio de extensión educativa y un núcleo de investigación, diagnóstico y evaluación.

La planificación del edificio de New Struan se configura de manera ingeniosa, adoptando la forma de una "T" invertida. La porción horizontal de esta T, se extiende de este a oeste, albergando áreas como la



Ilustración 3. Acceso al Netley school for autistic. London by Haverstock Associates



Ilustración 4. Acceso al Netley school for autistic. London by Haverstock Associates

recepción, una acogedora cafetería y espacios dedicados a la capacitación.

El epicentro de las operaciones, sin embargo, reside en la columna vertebral de esta estructura, donde se encuentra la zona de diagnóstico y evaluación, protegida tras un conjunto de puertas de seguridad.

Este núcleo central, que se extiende de norte a sur, engloba a un atrio de un solo nivel, que sirve como el eje central de circulación, con aulas a ambos lados, las cuales se abren hacia áreas de juego externas, lo que garantiza un entorno seguro para los estudiantes. El atrio no solo funciona como un espacio de paso, sino como el "corazón social" de la escuela, siendo un punto focal vital para la interacción y orientación.

Las aulas están estratégicamente vinculadas al atrio, con pequeños nichos que sirven como zonas de transición. Estos espacios de aprendizaje, concebidos para grupos reducidos de hasta 6 niños, se distinguen por la presencia de superficies de vidrio que fomentan la conexión visual.

Cada aula está equipada con estaciones de trabajo individuales, áreas para exhibición y discusión de trabajos, así como zonas circulares destinadas a actividades grupales, todo ello diseñado para fomen-



Ilustración 5. Vista de un salón de clases que muestra ventanas completas e iluminación del techo

tar una experiencia educativa envolvente y colaborativa.

La iluminación y ventilación han sido meticulosamente abordadas en el diseño del edificio. Las ventanas claristorio³ están equipadas con persianas que suavizan la luz solar directa y la difuminan hacia el techo, mientras que las claraboyas garantizan una óptima iluminación y ventilación cruzada en las aulas y el atrio.

La iluminación artificial, por su parte, ha sido equipada con tecnología de balastos de alta frecuencia y control de atenuación, permitiendo ajustes precisos de la intensidad lumínica según las necesidades del momento.

3 Claristorio, corresponde al nivel más alto de la nave en una basílica romana o en una iglesia románica, o gótica. Su nombre se debe al hecho de que sus vanos permiten a la luz iluminar el interior del edificio.

El esquema de colores y texturas ha sido cuidadosamente seleccionado para maximizar el entorno educativo. Los tonos suaves dominan el diseño del aula, proporcionando un lienzo neutral sobre el cual los profesores pueden agregar estímulos visuales según lo requieran.

Los acabados, desde alfombras hasta paredes, están codificados para apoyar la jerarquía espacial y mejorar la experiencia sensorial de los estudiantes. Además, se han optado por tonos "terrosos" para los colores de fondo, mientras que las paredes del atrio se mantienen neutrales, permitiendo a los niños personalizarlas con sus propias creaciones artísticas.

En cuanto a la acústica, todas las aulas han sido diseñadas con altos estándares de insonorización, empleando muros de mampostería de hormigón denso de 150 mm de espesor, complementados con enlucido denso de 19 mm en cada lado.

Por último, pero no menos importante, el área de juego que rodea el edificio ha sido

cuidadosamente diseñada con paisajismo suave, en un entorno seguro y estimulante para el recreo de los niños.

5. LA DIVERSIDAD COMO POSTURA ANTE LA ARQUITECTURA Y LAS DIFERENTES MANERAS DE PERCIBIR EL MUNDO

La interacción entre el Trastorno del Espectro Autista (TEA) y la arquitectura nos invita a reflexionar sobre la necesidad crítica de diseñar entornos que sean verdaderamente inclusivos, especialmente para aquellos en el espectro autista, durante sus años formativos (Mostafa, 2008). La ausencia de espacios adaptados no solo presenta desafíos individuales, sino que también tiene consecuencias sociales perjudiciales.

En este artículo se ha procurado analizar cómo la falta de un diseño arquitectónico inclusivo en las primeras etapas del desarrollo puede limitar a individuos de gran potencial, privándolos de la oportunidad de contribuir significativamente a la sociedad.



Ilustración 6. Fachada externa del edificio



Ilustración 7. Área de juegos ajardinada



Ilustración 8. Circulación del atrio – Corazón del edificio



Ilustración 9. Circulación del atrio – Corazón del edificio

La variabilidad en los grados de autismo resalta la importancia de adaptar los entornos para acomodar las diversas formas de neurodiversidad. A menudo, quienes presentan condiciones dentro del espectro autista muestran habilidades que desafían las normas cognitivas convencionales y podrían incluso ser consideradas geniales.

Por ejemplo, personajes históricos como Albert Einstein, cuyas teorías revolucionaron la física, podrían haber mostrado características autistas. La profundidad única de su pensamiento y su enfoque en la investigación sugieren una relación entre la neurodiversidad y una creatividad excepcional (Fitzgerald, 2005) (Silberman, 2015).

Otro caso destacado es Nikola Tesla, cuya meticulosa innovación en ingeniería eléctrica y su dedicación intensa pueden indicar una relación con el espectro autista. Tesla poseía la capacidad de visualizar conceptos complejos y realizar experimentos detallados, lo que refleja un enfoque singularmente genial.

En el ámbito de las artes, Vincent van Gogh es otro ejemplo de cómo la neurodiversidad puede manifestarse en la creatividad intensa y un enfoque distintivo en la pintura, lo que sugiere que la diversidad neurológica no se limita a un solo campo de la sociedad.

La falta de entornos adecuados desde la infancia no solo priva a las personas con autismo de oportunidades valiosas, sino que también representa una pérdida para la sociedad en términos de innovación y progreso. Al contemplar la genialidad de figuras como Einstein, Tesla y Van Gogh, queda claro que la neurodiversidad puede ser un catalizador de la creatividad y un motor de excelencia en diversas disciplinas.

Surge entonces la pregunta ineludible: ¿Por qué seguimos construyendo una arquitectura homogénea en un mundo donde la diversidad individual es inherente? Este enfoque anticuado no solo limita a

aquellos en el espectro autista, sino que también restringe las oportunidades y el desarrollo de personas con desarrollo neurológico típico.

La diversidad de habilidades y perspectivas demanda una adaptación arquitectónica que no solo refleje, sino que celebre esta complejidad, en lugar de imponer un estándar rígido que margine lo único (Davis, 2016). Por lo tanto, es imperativo sostener una conversación sobre el diseño arquitectónico y la neurodiversidad para fomentar cambios significativos en la planificación y el diseño.

La omisión de espacios adaptados representa no solo una falla ética, sino también un obstáculo para el progreso y la participación plena en la sociedad.

Abogar por una arquitectura inclusiva y flexible es un paso fundamental hacia un futuro donde cada individuo, sin importar su perfil neurológico, pueda contribuir plenamente al tejido social y cultural. Este diálogo crítico es esencial para avanzar hacia una sociedad que no solo tolere, sino que también celebre y valore la diversidad en todas sus formas (Imrie & Hall, 2001).

6. DISCUSIÓN

En la actualidad, el diseño arquitectónico frecuentemente refleja una normatividad cognitiva que, aunque de manera inadvertida, excluye a aquellos cuyas experiencias y procesamiento sensoriales difieren de la "normalidad" percibida. La estructuración de entornos construidos, que abarca desde edificios públicos hasta espacios educativos, se adhiere a un modelo que presupone uniformidad en la percepción cognitiva.

Este paradigma no solo limita la accesibilidad, sino que también contribuye a la marginalización inadvertida de individuos en el espectro del autismo, así como de otros que divergen de la norma cognitiva convencional.

Las barreras sensoriales en entornos tradicionales pueden ser abrumadoras para las personas con autismo; luces intensas, ruidos constantes y la falta de áreas adecuadas para el descanso sensorial pueden provocar estrés y dificultades de adaptación (CONECTEA, 2022). Esta falta de consideración hacia las necesidades específicas perpetúa la exclusión, reforzando la errónea noción de que existe una única manera "normal" de experimentar el entorno.

La rigidez del diseño arquitectónico también se manifiesta en la falta de adaptabilidad de espacios educativos y laborales, que a menudo adoptan un formato inflexible. Esto limita las opciones de personalización para diferentes estilos de aprendizaje y necesidades individuales, lo cual refleja la percepción arraigada de que las necesidades cognitivas son homogéneas y predecibles, ignorando así la diversidad real en la forma en que las personas procesan información.

La accesibilidad cognitiva, esencial para una inclusión efectiva, se convierte en una prioridad a menudo ignorada en muchos diseños arquitectónicos. La falta de señalización clara, la disposición confusa de los espacios y la ausencia de áreas que aborden las necesidades sensoriales, son características comunes que refuerzan la exclusión involuntaria (CONECTEA, 2022).

La normalización de este modelo de diseño arquitectónico no solo afecta a quienes están en el espectro del autismo, sino también a cualquier persona que no encaje dentro de las normas cognitivas preestablecidas.

Es crucial reconocer que la "normalidad" cognitiva es, en sí misma, un espectro amplio y diverso, por lo que, desafiar la normatividad cognitiva en el diseño arquitectónico, no solo implica la adaptación física de estructuras, sino también un cambio en las percepciones culturales arraigadas.

Aumentar la conciencia pública sobre la diversidad cognitiva y la neurodiversidad es esencial para impulsar un cambio real en cómo concebimos y creamos nuestros espacios. La inclusión y accesibilidad deben convertirse en pilares fundamentales del diseño arquitectónico, retando las expectativas convencionales y cuestionando la normatividad cognitiva, lo que nos permitirá avanzar hacia un diseño verdaderamente inclusivo y adaptado a las realidades y necesidades de sus usuarios.

Este cambio beneficiará no solo a aquellos en el espectro del autismo, sino que enriquecerá el proceso de diseño arquitectónico para todos los profesionales y, por extensión, para toda la sociedad, lo que nos lleva hacia un futuro donde la diversidad cognitiva será celebrada y atendida en cada rincón de nuestra vida cotidiana ya que, al diseñar entornos inclusivos, estamos sentando las bases para una sociedad más comprensiva y equitativa.

La creación de espacios accesibles promueve la participación de las personas con autismo en diversos aspectos de la vida cotidiana, por lo que minimizar barreras sensoriales y fomentar la adaptabilidad y flexibilidad contribuye a que dichas personas desplieguen todo su potencial.

Este nivel de inclusión enriquece la diversidad de talentos y perspectivas en la sociedad, y al diseñar para la inclusión, estamos allanando el camino para un cambio cultural en la percepción de la diversidad cognitiva.

Además, la potenciación de espacios también puede influir en el desarrollo de políticas públicas y normativas arquitectónicas más inclusivas, en consecuencia, a la medida en que la sociedad reconoce la importancia de diseñar entornos para la diversidad cognitiva, aumenta la presión para implementar cambios a nivel estructural, estableciendo un estándar para la creación de espacios que atiendan a una amplia variedad de necesidades.

7. CONCLUSIONES

A lo largo del presente estudio, hemos explorado la interacción esencial entre el diseño arquitectónico y las necesidades espaciales de individuos en el espectro del autismo, y resaltamos la urgencia de cuestionar la normatividad cognitiva en nuestros entornos construidos.

Este análisis ha procurado profundizar cómo, en enfoques como el Teacch, junto con la adaptabilidad, la individualización y la accesibilidad cognitiva, pueden transformar positivamente la vida diaria de las personas con TEA.

Hemos constatado que la arquitectura trasciende el mero ejercicio de diseño formal hacia una herramienta que permite facilitar la inclusión y mejorar la calidad de vida de aquellos que perciben el mundo de manera distinta.

Desde la adaptación de entornos educativos hasta la configuración de espacios públicos que consideren diversas necesidades sensoriales, hemos identificado un potencial significativo para fomentar la inclusión social y el bienestar general.

La normatividad cognitiva, profundamente arraigada en el diseño arquitectónico convencional, ha generado barreras no anticipadas, limitando la adaptabilidad y la conciencia sobre la necesidad de diversidad cognitiva en una variedad de espacios. Esta situación ha resultado en la exclusión, muchas veces involuntaria, de individuos en el espectro del autismo. Al cuestionar las normas habituales en el proceso de diseño y proponer un cambio en la concepción de los espacios, avanzamos hacia una sociedad más consciente y justa.

La revisión de cómo abordamos la arquitectura a nivel profesional permite ampliar una visión crítica contemporánea: diseñar de manera integral, al priorizar la diversidad cognitiva y las necesidades de todos

los usuarios, no solo los convencionales. Esto beneficia especialmente a las personas con TEA, lo cual enriquece la experiencia y la interacción de toda la comunidad con el espacio que ocupa.

La inclusión activa y constante de personas con autismo fomenta una diversidad de talentos y perspectivas, que vuelve positivo a nuestro tejido social y fomenta una comunidad más comprensiva y tolerante. Además, el fortalecimiento de los espacios para la inclusión no solo implica la creación de entornos accesibles, sino que también puede promover cambios culturales y políticos significativos.

El incremento en la conciencia pública sobre estas necesidades puede impulsar la adopción de políticas arquitectónicas más inclusivas y normativas, que respondan a las diversas demandas de nuestra sociedad.

Por tanto, en la búsqueda de una arquitectura más inclusiva, es esencial reconocer que un diseño adaptable y accesible beneficia no solo a las personas en el espectro del autismo, sino también a una sociedad cambiante que necesita espacios que se adapten de manera continua a sus necesidades.

Finalmente, la implementación de estrategias arquitectónicas que superen la normatividad cognitiva señala un cambio hacia la aceptación y celebración de la diversidad. La innovación en el diseño, impulsada por un entendimiento profundo de las necesidades individuales, redefine nuestros espacios físicos y fomenta una mentalidad más inclusiva en la sociedad.

Al promover un enfoque que valore la singularidad cognitiva de cada persona, nos dirigimos hacia un futuro en el que la arquitectura se convierte en un catalizador esencial para la creación de comunidades cohesionadas, vibrantes y genuinamente inclusivas.

8. REFERENCIAS

Castañeda-Sifuentes, L., Maya-López, M., & Leyva-Picazo, V. (2022). ARQUITECTURA PARA EL AUTISMO: UNA REFLEXIÓN DEL DISEÑO DE AMBIENTES DE APRENDIZAJE. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*.

CONECTEA, F. (2022). ARQUITECTURA Y AUTISMO: LA ACCESIBILIDAD COGNITIVA EN LOS ENTORNOS. Obtenido de <https://www.fundacionconectea.org/2022/09/22/arquitectura-y-autismo-la-accesibilidad-cognitiva-en-los-entornos/>

Davis, L. (2016). *The Disability Studies Reader*. New York: Routledge.

Estudio Huarte - Virguez Lalli. (28 de Junio de 2023). MOV - De la inteligibilidad a la percepción. Obtenido de 8 MINUTE READ: https://issuu.com/emebelu/docs/ta-entrega_final-g08/s/27610257#:~:text=Aplicado%20a%20la%20arquitectura%2C%20la,de%20forma%20clara%20y%20directa.

Fitzgerald, M. (2005). The genesis of artistic creativity : Asperger's syndrome and the arts.

Gaines, K., Bourne, A., Pearson, M., & Kleibrink, M. (2016). *Designing for Autism Spectrum Disorders*. New York: Routledge.

Holahan, C. (2012). *Actitudes ambientales. Psicología ambiental: un enfoque general*. Austin, Texas: Limusa.

Imrie, R., & Hall, P. (2001). *Inclusive Design, Designing and Developing Accessible Environments*. London: Taylor & Francis.

Khelifa, A., & Kentour, F. (2021). Promoting Education for Children with Autism Spectrum Disorder. Algeria: IBN KHALDOUN UNIVERSITY -TIARET Faculty of Foreign Languages.

Mostafa, M. (2008). AN ARCHITECTURE FOR AUTISM: CONCEPTS OF DESIGN INTERVENTION FOR THE AUTISTIC USER. *International Journal of Architecture Research*, 189-211.

Norberg Schulz, C. (2008). *INTENCIONES EN ARQUITECTURA*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.

Picardo Joao, O., Miranda De Escobar, A., Escobar Salmerón, J., & Oliva, H. (2014). *Pedagogía, didáctica y autismo*. San Salvador: UFG.

Progressive Pediatric Therapy. (25 de June de 2021). *Progressive Pediatric Therapy*. Obtenido de <https://www.ppt4kids.com/que-es-la-ecolalia/#:~:text=La%20ecolalia%20es%20un%20trastorno,%3A%20hablar%2C%20Eco%3A%20repetir.>

Riviere Gómez, A. (1982). Granja residencia en Villatobas (Toledo), para autistas de APNA. *COAM, Arquitectura: Revista del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid*, 47-52. Obtenido de <https://www.coam.org/media/Default%20Files/fundacion/biblioteca/revista-arquitectura-100/1981-1986/docs/revista-articulos/revista-arquitectura-1982-n234-pag47-52.pdf>

Sánchez Soriano, M. (2019). Método Teacch y Montessori para alumnado con Trastorno del Espectro Autista (TEA). *Publicaciones Didácticas*, 446-484.

Silberman, S. (2017). NeuroTribes: The Legacy of Autism and the Future of Neurodiversity. *Psychiatry*.

Stern, J., Munn, R., & Alexander, D. (2019). Designing for neurodiversity: An exploratory study of interior design for children with an autism spectrum disorder.

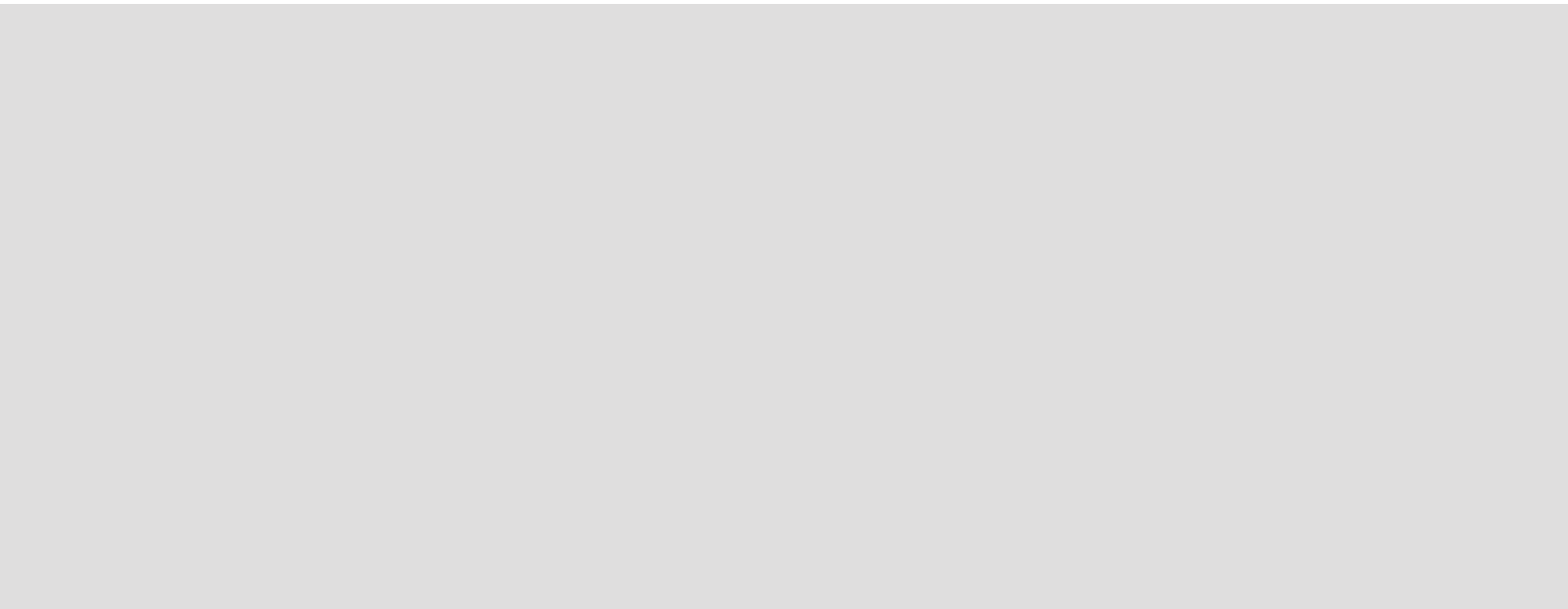
Sulaiman Shareef, S. (February de 2016). Consideration in Design of Interior Spaces for Autistic Children. Gazimağusa, North

Cyprus: Institute of Graduate Studies and Research in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Interior Architecture.

TEACCH, D. (2011). *El método TEACCH*. Obtenido de [https://autismodiario.com/](https://autismodiario.com/wp-content/uploads/2011/03/resumenTEACCH.pdf)

[wp-content/uploads/2011/03/resumenTEACCH.pdf](https://autismodiario.com/wp-content/uploads/2011/03/resumenTEACCH.pdf)

TEMPLE GRANDIN, & Panek, R. (2013). *The Autistic Brain: Thinking Across the Spectrum*. Boston: Houghton Mifflin Harcourt.



Fibers Pavement Concrete Proposed for Salang Road-Afghanistan-A review

Propuesta de pavimento de hormigón con fibras para la carretera de Salang, Afganistán: una revisión

EÍDOS N°24
Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo
ISSN: 1390-5007
revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos

¹Abdulhai Kaiwaan, ²Sayed Javid Azimi, ³Muhammad Aref Naimzad

¹Afghan international islamic University, Structural Engineering Faculty, Afghanistan.
abdulhai.kaiwaan@aiiu.edu.af. ORCID: 0009-0008-2427-5902

²Afghan international islamic University, Structural Engineering Faculty, Afghanistan.
sayed.javid.azimi@aiiu.edu.af. ORCID: 0000-0003-2149-7768

³Kabul University, Structural Engineering Faculty, Afghanistan. naimzad@ku.edu.af. 0000-0002-3123-7911

Abstract:

In this paper, an intensive review was made to propose Fibers Pavement Concrete (FPC) for Salang-Road Afghanistan. Moreover, structural properties of FPC were also evaluated and compared with those of Asphalt road. There are various benefits in application of Fiber within rigid pavement. For instance, FPC has longer life and lower maintenance cost in compare with the flexible pavement. In rigid pavement design temperature and thickness are two effective parameters that could widely affect by inclusion of fiber to the total cost of the Salang Road-Project. Different types of fibers with volume fraction optimization which economical and safe are introduced. A concept was adopted to quantify the benefits of adding fiber in terms of extension of the pavement service life and also in terms of reduction in the concrete thickness for the same service life of both reinforced and unreinforced concrete pavement sections. that the use of fibers reduces the thickness of road pavement, enhance the durability and subsequently decreases the overall cost of road construction of Salang rigid pavement.

Keywords: fibers, structural properties, rigid pavements, temperature, Salang-Road.

Resumen:

En este artículo se realizó una revisión intensiva para proponer concreto de pavimento de fibras (FPC) para Salang-Road, Afganistán. Además, también se evaluaron las propiedades estructurales del FPC y se compararon con las de la carretera asfáltica. Existen varios beneficios en la aplicación de fibra dentro de pavimento rígido. Por ejemplo, el FPC tiene una vida más larga y un menor costo de mantenimiento en comparación con el pavimento flexible. En el diseño de pavimento rígido, la temperatura y el espesor son dos parámetros efectivos que podrían afectar ampliamente la inclusión de fibra en el costo total del Proyecto de Carretera Salang. Se introducen diferentes tipos de fibras con optimización de la fracción volumétrica, económicas y seguras. Se adoptó un concepto para cuantificar los beneficios de agregar fibra en términos de extensión de la vida útil del pavimento y también en términos de reducción del espesor del concreto para la misma vida útil de secciones de pavimento de concreto reforzado y no reforzado, pues el uso de fibras reduce el espesor del pavimento de la carretera, mejora la durabilidad y posteriormente disminuye el costo total de la construcción de carreteras con pavimento rígido de Salang.

Palabras claves: fibras, propiedades estructurales, pavimentos rígidos, temperatura, Salang-Road.

1. INTRODUCTION

Salang Road (SR) is currently the primary mountain pass which is the most direct connections between the Kabul regions with northern Afghanistan. The pass crosses the Hindu Kush mountains but is now bypassed through the Salang Tunnel, which runs underneath it at a height of about 3,400 m. At least 10,000 vehicles, including cars, buses and trucks cross the SR Pass daily, which serves as lifeline between Kabul and the northern provinces, have been repaired many times over the past decade, but the conditions remain severe as using asphalt and poor maintenance are the main reasons for the degradation of the SR (Malistani & Nejabi, 2019). On the other hand, Asphalts road does not have sufficient durability against snow and humidity. Hence, most of the time Salang-Road (SR) is under the snow fall and Temperature is under 0 C0. Salang Road several times constructed but due to low temperature and humidity and high rapid load of vehicles destructed and damaged. Thus, many times reconstructed SR by government of Afghanistan but not withstand till design life and damaged in short period of time. To tackle these problems, rigid pavements (FRC) can be constructed.

A country can achieve sustainable and rapid growth in all fields by improving its connectivity and transit systems which connectivity of people to resources by improved transit mechanism results in improved living standards. Thus, the major part of connectivity of any country is through road systems (Achilleos et al, 2011; AL-Kaissi, Daib & Abdull-Hussain, 2016; Hassouna & Jung, 2020; Cervantes & Roesler, 2009). In Afghanistan, all the major road systems are designed as flexible pavements only, because of their ease of construction and less time it takes to be opened to traffic operations. Pavement plays a significant role to improve cost effective and efficient high way and road networks. In structural point of view pavement is categorized in two main group namely flexible (Asphalts) and rigid pavement (Concrete) The major prob-

lem with flexible pavements is their design life and high maintenance costs (Fuente-Alonso et al., 2017).

Although the cost of construction of rigid pavements is high, its long life, high load carrying capabilities and low maintenance cost will balance the initial cost aspect (Azimi, 2015; 2017). Recently, many studies are being conducted on different types of fibers which can be used in rigid pavements, thereby reducing its cost and enhancing properties and durability of the mix (Mohsin, Azimi & Namdar, 2014; Azimi et al., 2014). In transportation sector, rigid pavement is an important application of concrete, since using concrete as a surface pavement is more durable than asphalt pavement, requiring less maintenance and having longer life (Malistani & Nejabi, 2019; Lakshmayya & Aditya, 2017; Nobili, Lanzoni & Tarantino, 2013; Celis & Mendoza, 2020). Conventional concrete usually experiences failure caused by the breakdown of the bond between paste and aggregate, and this reduces the flexural strength which is one of the principal factors in concrete pavement design (Ho et al., 2012; Prathipati & Rao, 2020; Chi & Zhang, 2014; Shafigh, Mahmud & Jumaat, 2011; Rana, 2013). Therefore, the enhancement in flexural can be used to improve the performance sections and to reduce the required thickness of the pavement (Guo et al., 2019; Ali, Qureshi & Kurda, 2020; Mohammed, Bakar & Bunnori, 2016).

On the other hand, concrete pavements may undergo rapid deterioration, in the form of micro and macro cracks, fractures and failures, which can cause loss of serviceability and unsafe driving condition (Safdar, Matsumoto & Kakuma, 2016; Jamwal & Singh, 2018; Shakir, Al-Tameemi & Al-Azzawi, 2021). This occurrence is mainly due to the brittle behavior of cement concrete together with its low resistance to fatigue phenomena and its small toughness (Perkins et al.; Ali, Qureshi & Khan, 2020; Bordelon, 2007). However, these detrimental aspects can be mitigated through the adoption of fibers. Indeed, dispersed structural fibers can be

added at the mixing stage of concrete in the so-called fiber reinforced concrete (FRC). Many studies have been performed in the last decades concerning the mechanical performance of FRC (Choi, Park & Jung, 2011; Bywalski et al., 2015; Kamel, 2016). It appears that fibers can significantly improve durability, tensile strength and toughness of the cement matrix, preventing the crack opening and growth in concrete members (Akil et al., 2011; Alengaram, Muhit & Jumaat, 2013) and cementitious composites, like cement-treated road materials (Almou-sawi, 2011). Asphalt pavement has been widely used in express highway for its merits of smooth, comfortable travel, low-noise and so on.

However, early damage of asphalt pavement becomes more and more serious with the continued increasing of axle load and traffic; therefore, asphalt concrete should be modified in some way to promote its pavement performance (Carmona, Aguado & Molins, 2013; Chaallal, Nollet & Perraton, 1998). Among those modifiers of asphalt concrete, fibers have obtained more and more attention for their excellent improvement effects and its merits of simple con-

struction and economic cost. Cement concrete pavement provides durable service life and remarkable applicability for heavy traffic (Deka, Misra & Mohanty, 2013; Hassanpour, Shafigh & Mahmud, 2012). Its purchase being easier than asphalt, cement concrete pavement offers excellent advantages in terms of durability and economic efficiency (Mannan & Ganapathy, 2002; Shafigh, Mahmud & Jumaat, 2011). However, adequate repair of this pavement is harder than asphalt concrete in case of degradation or damage. Different types of fibers, especially steel and synthetic fibers, are commonly used to strengthen the mechanical behavior of concrete, producing good results with numerous properties. In general, tensile, flexural, impact, fatigue and wear strength, deformation capability, load-bearing capacity after cracking, and toughness are significantly improved with the use of fibers in concrete mixes (Teo, Mannan & Kurian, 2006; Zhang, Stang & Li, 2001; Gorkem & Sengoz, 2009; Ramsamooj, 2001; Chen & Huang, 2008; Fitzgerald, 2000; Rahnama, 2009). The main aim is to review the studies which focused on the influence of utilizing fibers in rigid pavement. Also, a comparison of



Figure 1. Salang-Road, Afghanistan

the conventional concrete with the fiber reinforced concrete based on previous researches will be made. This research investigated to quantified advantages of different types of fibers into pavement concrete, in order to consider Fiber Pavement Concrete (FPC) as a replacement of Asphalt road concrete for SR Afghanistan. Here, an attempt is made to reduce the construction cost of rigid pavements by incorporating fiber in rigid pavement concrete of Salang-road of Afghanistan.

2. FIBER ROAD CONCRETE

The pavement may be defined as a relatively stable layer constructed above the natural soil for suitable distribution of wheel load and provides support to the wearing surface (Chen & Huang, 2008; Fitzgerald, 2000). In history, the pavements have been divided into two types; flexible and rigid pavements depending on the way of transferring load to the foundation soil. For flexible pavements, there is a gradual stiffness that increases from the foundation soil to the wearing way, which leads to high stress on the soil because the load is decadent over a relatively small area. On the contrary, in rigid pavements, the stresses on the soil are smaller because the stiffness of the road base is bigger than that of the soil (Rahnama, 2009; Maurer & Gerald, 1989). The main advantages of using Portland Cement Concrete pavement has the durability and the ability to hold the required

shape. The durability and serviceability of concrete pavement structures rely on the rate of pavement deterioration. The deterioration of pavement relies on features such as climatic effects, properties of a material, and Vehicular loads characteristics. Cracks in concrete pavements can be seen as a tensile failure (Mahrez, Karim & Katman, 2005; Mahrez, Karim & Katman, 2003). Cracks are developed at different positions in the pavement, in cases where higher tensile stresses are developed in it which is greater than the concrete bending strength (Mahrez, Karim & Katman, 2003; Peltonen, 1991). The PCC is a brittle material that possesses lesser tensile or bending strength and lower induced strain at failure. To solve such a problem, steel reinforcement or bars are incorporated in the concrete structures. Delaying and controlling tensile cracking is the main impact of fiber reinforced concrete. Reinforcing concrete with fiber significantly affects the costs of pavement construction due to decreased thickness requirements, reduced maintenance costs and effort, and therefore longer service life (Huang & White, 1996; Putman & Amirkhanian, 2004; Chen et al., 2004; Echols, 1989). The main purpose of adding steel fiber to the concrete flooring is to modify the cracking mechanism. The cracking system is revised, and ultimately, there is an enhancement in its static and dynamic properties as well as performance at various applications of load. During the previous researches, there have been advances to use discontinuous, randomly ori-



Figure 2. Flexible Pavement Vs Rigid Payment Layers

ented, discrete fibers to overcome these weaknesses (Maurer, Malasheskie, 1989; Abtahi et al., 2008). This is recognized as concrete reinforced with fiber. The adding of fibers into the stiff concrete can enhance the control of growth and propagation of micro cracks as the tensile strain in the concrete increases. The type and percentage of improvement are based on type, size, shape, amount, and strength of fiber (Hejazi et al., 2008; Tapkın et al., 2009; El-Sheikh, Sudol & Daniel, 1990).

3. FIBERS

Amongst the many benefits of fibre inclusion in concrete mixture are increased bond between the matrixes, increased shear, moment and punching resistance, increased dowel effect, reduced crack spacing and crack widths, increased flexural stiffness and ductility (Achilleos et al, 2011, Lakshmayya & Aditya, 2017; Nobili, Lanzoni & Tarantino, 2013; Safdar, Matsumoto & Kakuma, 2016). Different types of fibres have been used in concrete mixture such as glass fiber, steel fiber, synthetic fibre and natural fibre (AL-Kaissi, Daib & Abdull-Hussain, 2016; Ho et al., 2012; Prathipati & Rao, 2020).

- i. Glass fibre is available in either continuous or chopped lengths. Fiber lengths between 25 to 35-mm lengths are used in concrete mixture. Glass fibre has high tensile strength up to 4 GPa and elastic modulus up to 80 GPa but it has brittle stress-strain characteristics, and it has an elongation up to 4.8 %.



Figure 3. Glass Fiber

- ii. Steel fibres are commonly used within concrete structures. The earlier version of fibres used were round and smooth, and the wire was cut or chopped into the required lengths but modern fibres have either rough surfaces, hooked ends or are crimped. Typically steel fibres have the equivalent diameter ranging from 0.15 mm to 2 mm and lengths from 7 to 75 mm. Aspect ratio is defined as the ratio between fibre length and its equivalent diameter, and it varies from 20 to 100. Steel fibres have high tensile strength up to 2 GPa and modulus of elasticity 200 GPa.

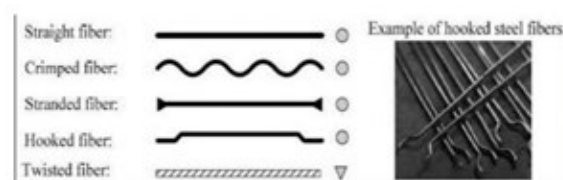


Figure 4. Types of Steel Fibers

- iii. Synthetic fibres are man-made fibres resulting from development in the petrochemical and textile industries. Fiber types that have been used in concrete mixtures include acrylic, aramid, carbon, nylon, polyester, polyethylene and polypropylene. Table1 summarises the range of physical properties of commonly used synthetic fibres.



Figure 5. Synthetic fibre (Azimi et al., 2014)

Table 1. Synthetic fibre types and properties [10]

Fibre type	Diameter (µm)	Density	Tensile Strength (MPa)	Elastic Modulus (GPa)	Ultimate Elongation (%)
Acrylic	13-104	1.16-1.18	270-1000	14-19	7.5-50
Aramid	12	1.44	2900	60-115	4.4
Carbon	8-18	1.6-1.7	2500-3000	380-480	0.5-0.7
Nylon	23	1.14	970	5	20
Polyester	20	1.34-1.39	230-1100	17	12-150
Polyethylene	25-1000	0.92-0.96	75-590	5	3-80
Polypropylene	-	0.9-0.91	140-700	3.5-4.8	15

Table 2. Literature Survey

Author	Year	Study Topic	Result
Constantia Achilleos et al	2011	Proportioning of Steel Fiber Reinforced Concrete Mixes for Pavement Construction and Their Impact on Environment and Cost	SFRC Pavement design is a good sustainable alternative instead of asphalts for the road construction industry, both in the economic and environmental aspect. Steel fibers significantly improve the impact resistance of concrete making it a suitable material for structures subjected to impact loads.
Zainab Kaissi et al	2016	EXPERIMENTAL AND NUMERICAL ANALYSIS OF STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE PAVEMENT	Comparison between horizontal tensile stress and strain at bottom of concrete pavement for (0.0, 0.4, and 0.8) % volume fraction of steel fiber content show that as steel fiber content increase the ability of concrete pavement to withstand higher magnitudes of stress and strain without deterioration
Fady M. A. Hassouna and Yeon Woo Jung	2020	Developing a Higher Performance and Less Thickness Concrete Pavement: Using a Nonconventional Concrete Mixture	The results showed that the new concrete mixture could achieve an increase in flexural strength between 48.9% and 50.5% compared to normal concrete mixture without steel fibers and steel slag, with minimum acceptable workability, and therefore, the required pavement thickness could be decreased by more than 24 %.
Cervantes, V., & Roesler, J.	2009	PERFORMANCE OF CONCRETE PAVEMENTS WITH OPTIMIZED SLAB GEOMETRY	Concrete slabs on an asphalt base withstand much more ESAL than concrete of the same thickness on a granular base. The breaking capacity of 3.5-inch concrete slabs varied with the hardness of the soil. In all cases, for the 3.5-inch slab, structural fibers provided longer fatigue life, increased durability, and higher transverse load transfer capability than conventional concrete slabs.
Fuente-Alonso	2017	Performance of fiber-reinforced EAF slag concrete for use in pavements	Fiber-reinforced concrete pavement gave satisfactory results in terms of strength as measured by energy absorption at break in compression and tensile tests on normal and FRC specimens. Resistance to impact and abrasion showed better results in mixtures containing EAFS as aggregate than in mixtures with natural aggregates.

Lakshmayya	2017	DESIGN OF RIGID PAVEMENT AND ITS COSTBENEFIT ANALYSIS BY USAGE OF VITRIFIED POLISH WASTE AND RECRON POLYESTER FIBRE	It was found that the optimum value for adding VPW to the M40 construction mix is 15 %, at which point the compressive, bending and splitting tensile strengths reach their maximum values. At 15 degrees from VPW to M40, the compressive, bending and splitting tensile strengths increased within 28 days by 11.54 %, 36.92 % and 14.41 % respectively compared to conventional mixing.
Oliver C. Celis1 and Catalino N. Mendoza	2020	Experimental investigation and monitoring of a polypropylene-based fiber reinforced concrete road pavement	In this work, basic design guidelines for a polypropylene-based fiber reinforced concrete road pavement are presented. Monitoring was carried out under actual traffic conditions, as the test section was opened to the public long before the full project was developed, taking advantage of the pre-existing road network.
Oliver C. Celis1 and Catalino N. Mendoza	2020	QUANTITATIVE ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF RAMIE FIBERREINFORCED CONCRETE FOR RIGID PAVEMENT	It was found that maximum compressive strength of Ramie fiber reinforced concrete for stiff pavement is 34.93 MPa with a maximum fiber content of 1 %, and for tensile and flexural stresses, the maximum values are 2.98, MPa and 5.99 MPa respectively. The slab thickness reduced by 23 %.
Turatsinze, A., Hameed	2012	Effects of rubber aggregates from grinded used tyres on the concrete resistance to cracking	Brittleness of the concrete composite is decreased by the addition of rubber aggregates. it is almost zero for a concrete composite containing 40 % rubber aggregate content. Results obtained by applying AE technique showed that before the peak load, there is a micro-cracking zone at the tip of the notch while from the peak load. The Elastic Quality Index of rubberized composite decreases with the increase of temperature.
Bentur and Mindess	2006	Effect of hybrid steel fibers (short and long fiber) on the toughness and ductility of the concrete	The results showed an improved toughness and ductility of the pavement because short fibers tie the micro-cracks this resulted in enhancing the flexural strength and the long fibers minimized the propagating of macro cracks.
Eswari S. et al	2008	Studied the ductility performance of HFRC	The fibers enhanced the ductility of HFRC compared with non-fibrous RC
Thanon and Ramli	2011	Discussed the use of steel fiber with a different percent of volume in concrete as a hybrid steel and palm fibers on the mechanical properties of mixture	The mechanical properties of concrete improved with the increase of volume percent of the fiber and the optimal proportion of steel fiber is 1.5 %. The increase in toughness indicates high strength concrete when the usage of the hybrid fiber of 1.5 % steel and 0.5 % palm fibers
Rana	2013	Explore the effect of steel fiber on the concrete flexural strength and compared it with M25 grade concrete	The rise in steel fiber amount in the mix led to a significant rise in flexural strength. Consequently, flexural strength was increased by about 1.1 % compared with M25 grade concrete.
Mehul and Patel	2013	The impact of using different ratios of polypropylene fibers on the high strength concrete properties	The result showed that the flexural, tensile, and shear strength were notably increased. the fiber impact on plastic shrinkage cracking is considered

Sinha	2014	To calculate the optimal amount of steel fiber added to the mixture for economic construction of pavement compare to normal concrete pavement	Compared to traditional concrete, SFRC is a significant indication of composite material as the pavement thickness is reduced without affecting load-carrying capability and cost-effective technology
Jamwal and Sing	2018	Effect of different percentage of glass fiber to design the slab thickness of (PQC) using achieved flexural strength of the concrete mixture	The study showed that the high split tensile and flexural strength values of the concrete lead to enhance the load-carrying capability and produce greater predictable life. The addition of glass fiber to concrete lead to reduce the slab thickness
Hadeel M. Shakir	2021	A review on hybrid fiber reinforced concrete pavements technology	The use of various kinds of fibers in reinforced concrete pavements is essential to improve performance-related properties. Fibers are used individually or simultaneously (hybrid) in concrete pavements and are obtainable in a variety of shapes, lengths, sizes, and depths. It is obvious from past findings that fiber hybridization improves the properties of concrete better than mono fibers. It can be concluded that using hybridization in reinforced concrete pavement allows to reduce the thickness up to 30% by the improvement of compressive and tensile strengths.
Dr. Steven W. Perkins	2005	Development of Design Methods for Geosynthetic Reinforced Flexible Pavements	Significant improvement in terms of the number of traffic passes needed to reach a specified pavement surface deformation was observed for pavements constructed over relatively weak subgrades. The method has been formulated to be generic such that properties of the reinforcement established from different test methods are used as input.
Babar Ali	2020	Flexural behavior of glass fiber-reinforced recycled aggregate concrete and its impact on the cost and carbon footprint of concrete pavement	The results show that the application of glass fiber-concrete in highway concrete pavements is economical and environmentally feasible than choosing the plain concrete for the provision of a same service facility. Cost of pavement (CP) per square meter (USD/m ²) was evaluated and compared for different mixes. Compared to control concrete, 100 %CWA concrete yields 7% lesser CP value. Whereas 0.25 % GF incorporation leads to minimum CP values at all levels of CWA. Despite a high cost per unit volume, GF reinforced concretes at 0.25% fiber volume yield 21 % cheaper pavement than that of the control concrete.
Urbana, Illinois	2005	FRACTURE BEHAVIOR OF CONCRETE MATERIALS FOR RIGID PAVEMENT SYSTEMS	Specifically, functionally graded concrete materials (FGCM) for two lift rigid pavement construction, UTW composite material behavior, and fiber-reinforced concrete (FRC) pavements and the evaluation of mixture design selection to assist engineers in optimizing field performance.

S. Y. CHOI et al	2011	A Study on the Shrinkage Control of Fiber Reinforced Concrete Pavement	Three types of macro fibers with length longer than 30 mm and small aspect ratio together with micro nylon fibers with length of 12 mm and aspect ratio larger than 1000 are selected for the tests. Both reinforcement with a single type of fiber and hybrid reinforcement involving micro and macro fibers were executed, and the fiber volume ratio was set to 0.2 to 0.3 % of the concrete pavement mix.
Bywalski et al	2014	Influence of steel fibers addition on mechanical and selected rheological properties of steel fibre high-strength reinforced concrete	The percentage of total shrinkage distortion depends on the content of fibers and reduced, since the content has been increased. For each type of fibers, depending on their shape, a length and a slender ratio, there is an optimal level of structural gain, which may not be exceeded due to the process ability of the concrete mix.
M. A. Kame	2016	Quantification of Benefits of Steel Fiber Reinforcement for Rigid Pavement 2016	The incorporation of steel fibers to PCC results in an appreciable increase in compressive strength for different curing times, the increase has ranged from 10 % to 45 %. Flexural strength has improved up to 60 % as compared to PCC. The dynamic modulus of elasticity determined through ultrasonic testing on different concrete specimens has also got an increase of 25 % with a steel fiber content of 8 % by cement weight.
Yating Zhang et al	2014	Research on the behavior of rigid pavement of basalt fiber reinforced dowel bar under the condition of variable temperature	The range ability of temperature decreases with the enhancement of depth, and the temperature of pavement surface will be less than that of the road interior while heat release arises at the surface with a weakness of solar radiation. Impact analysis according to cement concrete pavement temperature stress containing basalt fiber reinforced dowel bar under different surface thickness shows that dowel bar has not occurred plastic deformation and bending strength meet the requirements.
Chih-Ta Tsai et al	2010	Use of high performance concrete on rigid pavement construction for exclusive bus lanes	This study incorporated the densified mixture design algorithm (DMDA) into the mixture design of HPC and HPSFRC in light of the critical requirements of constructing the rigid pavement in the bus stops of the exclusive bus lanes. The properties of HPC and HPSFRC designed can meet the design requirements, including the compressive strength at 3, 28, and 56 days, the flexural strength at 28 and 56 days, the workability including slump, slump flow, flow time, durability in terms of resistivity and charge passed.

4. RESULTS AND DISCUSSION

The type of fiber and its volume fraction has a considerable effect on the properties of FRC. The amount of fibre can be classified as a function of their fiber volume fraction, low fibre volume fraction 1 %, reasonable fibre volume fraction between 1 % and 2 %

whilst high fibre volume fraction greater than 2 %. Fibre contents in excess of 2 % by volume fraction results in poor workability. Figure 2.3 illustrates the behaviour of fiber into the matrix (Azimi, 2017; Mohsin, Azimi & Namdar, 2014). Martin et al. (2008) observed that the behaviour of plain concrete is brittle, concrete with insufficient

amount of fiber behaves quasi-brittle and concrete with sufficient amount of fibres behaves multiple cracking (strain-hardening).

- i. Brittle behaviour of concrete is observed when there is no fibres and steel inside the concrete. This is because, the concrete loses its tensile strength immediately after formation of first crack.
- ii. The quasi-brittle behaviour of concrete describes concrete that starts softening immediately after first cracking load. However, quasi-brittle behaviour of concrete still capable of transferring some reduced amount of stress which gradually decreases with increasing crack opening.
- iii. Multiple cracks (strain-hardening) occur when fibres within the matrix are capable of arresting the further opening of cracks by fiber bridging mechanism and inhibiting cracks growth. These mechanisms in turn cause the increase in the number of cracks whilst decreasing the spacing cracks.

Plain concrete pavements have low tensile strength and strain capacity, however these structural characteristics are improved by fibre addition, allowing reduction

of the pavement layer thickness. This improvement can be significant and depends on fibre characteristics and volume fraction and fiber influence to delay and control the tensile cracking of concrete (Munn, 1989; Echols, 1989). Therefore, it is found to have significant impact on the pavement cost due to reduced thickness requirements, less maintenance costs and longer useful life and comparing with the life cycle of an asphalt road, SFRC pavements have been reported to last twice as long. The largest volume application of SFRC has been in airport pavements due to high and damaging loads (Maurer & Arellano, 1987; Putman, 2004). Steel fibers significantly improve the impact resistance of concrete making it a suitable material for structures subjected to impact loads. SFRC pavement eliminates spring load restrictions. It does not rut, washboard or shove as in asphalt roadways; and it provides fuel savings for heavy vehicles versus asphalt pavements [New Jersey Division of Highways, 1976; Serfass & Samanos, 1996). All the above factors suggest that SFRC pavements are the most beneficial pavement type from an engineering and economical prospective. On the other hand, the current high cost of steel fibres in many regions may not justify their use, despite the lower life cycle costs achieved due to reduced maintenance requirements (Jenq, Liaw, C & Lieu, 1993; Simpson & Mahboub, 1994).

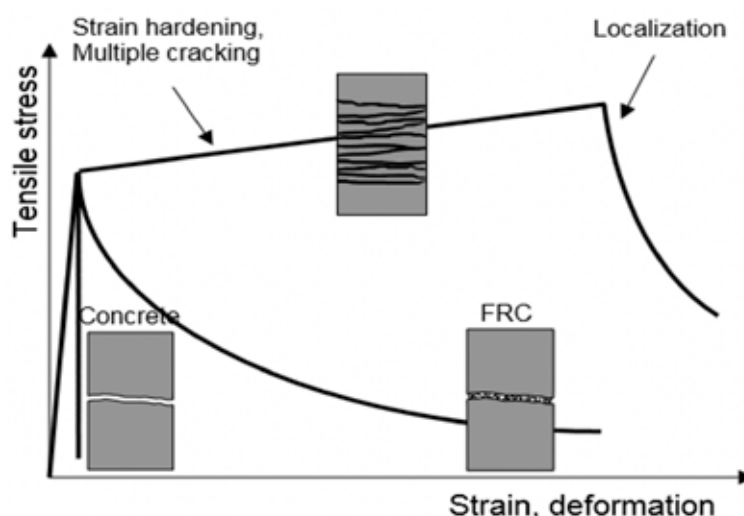


Figure 6. Typical stress-strain curves for concrete, concrete with insufficient amount of fiber and concrete with sufficient amount of fibres (Fuente-Alonso et al., 2017)

Cracking in the concrete pavement is the major cause of such disadvantages and the demand of repair on road sites is growing every day. This emphasizes the urgency to secure technologies for the control of early and long-term cracking. Rigid Pavements are made of Portland Cement Concrete (PCC). It serves out two aims, to maintain a durable surface with comfortable driving for vehicles. The second purpose is to decrease the stresses on the layers of pavement beneath the surface such as subbase and subgrade (Chen, Chung & Fu; Song, Hwang & Sheu, 2005). Concrete is considered a weak material in resisting tensile stresses. Therefore, when low tensile stresses are applied, rigid pavement begins to crack effortlessly. In concrete pavement, the usage of different kinds of fiber reinforcement could be an effective technique to improve these properties. Numerous kinds of fibers are utilized in the concrete pavement to behave as an alternative to ordinary reinforcement. They may differ in material like steel or plastic and could be in many shapes, and dimensions (Choi & Yuan, 2005; Alhozaimy, Soroushian & Mirza, 1996). The addition of fibers is during the mixing when the concrete is still fresh. The incorporation of different sorts of fibers could be a significant step in diminishing the cracks and achieving a higher performance of concrete. Two kinds of fibers or even more than two can be combined to achieve a mixture that produces profits for each type of fiber in this composite as hybrid fiber (Noumowe, 2005; Singh, Shukla & Brown, 2004). The reinforcement of concrete pavements with steel fibers may be considered as a good economical alternative. Not only, is the reduction of the construction costs expected but also, in terms of saving of natural resources (Einsfeld & Velasco, 2006).

5. CONCLUSIONS

It can be concluded; different types of fiber showed good compatibility in order to improve the structure properties of Concrete-Road pavement. In addition, fibres were efficient for improving the tensile strength

of PC to prevent from diagonal-tension cracking and caused to enhance the durability and service life of Road pavement structure. The concrete rigid pavement has low resisting the tensile stress and, cracks occur simply under the effect of Vehicles load. The use of various kinds of fibers in reinforced concrete pavements is more effective to improve road structure properties. The main conclusions observed based on previously studied are:

1. It is highly recommended to use fibre with an adequate amount into RPC of Salang for producing economical RP structure. Thus it was indicated that the use of fiber-concrete in highway concrete pavements is economical and environmentally feasible than choosing the Asphalts-Road for the provision of a same service facility, the required pavement thickness could be decreased by more than 24 %.
2. It is obvious from past findings that fiber hybridization improves the properties of concrete, the incorporation of fibers into the concrete led to an increase in the cost of the structure, but this cost increase is not an actual problem because the use of fibers in a mixture improves the durability of rigid pavement concrete.
3. Polymeric fibers such as polyester or polypropylene have proven cost-effective and corrosion resistant but they gave lower mechanical behavior than steel fibers in concrete and hybridization in reinforced concrete pavement allows to reduce the thickness up to 30 % by the improvement of compressive and tensile strengths.
4. An increase in the mechanical properties of concrete such as compressive strength, split tensile strength and flexural strength was caused by the addition of fibers to the concrete mixes but compressive strength of normal strength fibrous concrete is

comparatively scarcely affected by the presence of fibers compared to the tensile strength.

5. The novel concept behind this study is to prevent from shrinkage and expansion of concrete against temperature changes, which causes to increase the design life road pavement concrete.

6. ACKNOWLEDGMENT

This study is recommended by the Ministry of Public Work in order to consider for rehabilitation of Salang-Road Afghanistan. Abdulhai Kaiwaan and Sayed Javid Azimi wishes to thank Ministry of Higher education of Afghanistan for support by this research.

7. REFERENCES

- Abtahi, S. M., Khodadadi, R., Hejazi, S. M., Tavakkol, E. A. (2008). *Feasibility study on the use of polypropylene fibers as a modifier in asphalt-concretes made from steel slag*. In: 4th national conference on bitumen & asphalt, Tehran, Iran.
- Achilleos, C., Hadjimitsis, D., Neocleous, K., Pilakoutas, K., Neophytou, P. O., & Kallias, S. (2011). Proportioning of steel fibre reinforced concrete mixes for pavement construction and their impact on environment and cost. *Sustainability*, 3(7), 965-983.
- Akil, H. M., Omar, M. F., Mazuki, A. A. M., Safiee, S., Ishak, Z. A. M., & Abu Bakar, A. (2011). Kenaf fiber reinforced composites: A review. *Materials & Design*, 32(8-9), 4107-4121.
- AL-Kaissi, Z. A., Daib, A. S., & Abdull-Hussain, R. R. (2016). Experimental and numerical analysis of steel fiber reinforced concrete pavement. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 20(6), 135-155.
- Alengaram, U. J., Muhit, B. A. A., and Jumaat, M. Z. B. (2013). Utilization of oil palm kernel shell as lightweight aggregate in concrete—a review. *Construction and Building Materials*, 38, 161-172.
- Alhozaimy, A. M., Soroushian, P., Mirza, F. (1996). Mechanical properties of polypropylene fiber reinforced concrete and the effects of pozzolanic materials. *Cem Concr Res Comp*, 18(2), 85-92.
- Ali, B., Qureshi, L. A., & Kurda, R. (2020). Environmental and economic benefits of steel, glass, and polypropylene fiber reinforced cement composite application in jointed plain concrete pavement. *Composites Communications*, 22, 100437.
- Ali, B., Qureshi, L. A., & Khan, S. U. (2020). Flexural behavior of glass fiber-reinforced recycled aggregate concrete and its impact on the cost and carbon footprint of concrete pavement. *Construction and Building Materials*, 262, 120820.
- Almousawi, A. N. (2011). Flexural and Shear Performance of High Strength Lightweight Reinforced Concrete Beams (Ph.D.). University of Illinois at Chicago, United States.
- Azimi, S. J. (2015). Structural Behaviour of Kenaf Fiber as Part Shear Reinforcement in Oil Palm Shell Reinforced Concrete Beams (Doctoral dissertation, UMP).
- Azimi, S. J. (2017). Structural Behavior of Hair Fiber Reinforced Concrete Beams. *IOSR Journal of Engineering*, 7(01), 39-48.
- Azimi, S. J., Mohsin, S. M. B. S., Yahaya, F. B., & Namdar, A. (2014). An investigation on engineering properties of composite beam. Research Journal of Applied Sciences. *Engineering and Technology*, 8(6), 702-705.
- Bordelon, A. C. (2007). *Fracture behavior of concrete materials for rigid pavement systems*.

- Button, J. W., Lytton, R. L. (1987). *Evaluation of fabrics, fibers and grids in overlays*. Sixth international conference on the structural design of asphalt pavements. Ann Arbor, M.
- Bywalski, C., Kamiński, M., Maszczak, M., & Balbus, Ł. (2015). Influence of steel fibres addition on mechanical and selected rheological properties of steel fibre high-strength reinforced concrete. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 15(3), 742-750.
- Carmona, S., Aguado, A., and Molins, C. (2013). Characterization of the properties of steel fiber reinforced concrete by means of the generalized Barcelona test. *Construction and Building Materials*, 48, 592-600.
- Celis, O. C., & Mendoza, C. N. (2020). *Quantitative analysis of the behavior of ramie fiber-reinforced concrete for rigid pavement*.
- Cervantes, V., & Roesler, J. (2009). *Performance of concrete pavements with optimized slab geometry*. Research Report ICT-09-053. Rantoul, IL: Illinois Center for Transportation.
- Chaallal, O., Nollet, M. J., and Perraton, D. (1998). Shear strengthening of RC beams by externally bonded side CFRP strips. *Journal of Composites for Construction*, 2(2): 111-113.
- Chen, H., Li, N., Hu, C., Zhang, Z. (2004). Mechanical performance of fibers-reinforced asphalt mixture. *J Chan Univ (Nat Sci Ed)*, 24(2):1-5.
- Chen, P., Chung, D., Fu, X. Micro structural and mechanical effects of latex, methylcellulose and silica fume on carbon fiber reinforced cement. *ACI Mater J* 1997;94(2):147-55. 876 S.M. Abtahi et al. / *Construction and Building Materials* 24 (2010) 871-877 [53] Parameswaran V. Fiber-reinforced concrete: a versatile construction material. *Build Environ* 1991;26(3):301-5.
- Chen, X., Huang, B. (2008). Evaluation of moisture damage in hot mix asphalt using simple performance and superpave indirect tensile tests. *Constr Build Mater*, 22(9):1950-62.
- Chi, Y., Xu, L., & Zhang, Y. (2014). Experimental study on hybrid fiber-reinforced concrete subjected to uniaxial compression. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26(2), 211-218.
- Choi, S. Y., Park, J. S., & Jung, W. T. (2011). A study on the shrinkage control of fiber reinforced concrete pavement. *Procedia engineering*, 14, 2815-2822.
- Choi, Y., Yuan, R. L. (2005). Experimental relationship between splitting tensile strength and compressive strength of GFRC and PFRC. *Cem Concr Res*, 35(8), 1587-91.
- Deka, H., Misra, M., & Mohanty, A. (2013). Renewable resource based "all green composites" from kenaf biofiber and poly(furfuryl alcohol) bioresin. *Industrial Crops and Products*, 41, 94-101.
- Echols J. (1989). New method forces uniform fiber distribution. In: *Pavement maintenance/management technology '89*. *Roa Bri*, 27(3): 85-86.
- Echols J. New mix method for fiber-reinforced asphalt. *Public Works* 1989;119(8):72-3. Tapkin S. The effect of polypropylene fibers on asphalt performance. *Build Environ* 2008;43:1065-71.
- Einsfeld, A., Velasco, L. (2006). Fracture parameters for high performance concrete. *Cem Concr Res*, 36(3), 576-83.
- El-Sheikh, M., Sudol, J., Daniel, R. (1990). Cracking and seating of concrete pavement on I74. *Trans Res Rec* 1990;1268:25-33. [38] Daiga V. Polyester fiber-reinforced Id-2 wearing course. Report no. FHWA89-027+84-106.
- Fitzgerald, R. L. (2000). *Novel applications of carbon fiber for hot mix asphalt reinforcement*.

cement and carbon-carbon pre-forms. MSc Thesis, Department of Chemical Engineering, Michigan Technological University.

Fuente-Alonso, J. A., Ortega-López, V., Skaf, M., Aragon, A., & San-Jose, J. T. (2017). Performance of fiber-reinforced EAF slag concrete for use in pavements. *Construction and Building Materials*, 149, 629-638.

Gorkem, C., Sengoz, B.(2009). Predicting stripping and moisture induced damage of asphalt concrete prepared with polymer modified bitumen and hydrated lime. *Constr Build Mater*, 23(6):2227–36.

Guo, H., Tao, J., Chen, Y., Li, D., Jia, B., & Zhai, Y. (2019). Effect of steel and polypropylene fibers on the quasi-static and dynamic splitting tensile properties of high-strength concrete. *Construction and Building Materials*, 224, 504-514.

Hassanpour, M., Shafigh, P., and Mahmud, H. B. (2012). Lightweight aggregate concrete fiber reinforcement—a review. *Construction and Building Materials*, 37, 452-461.

Hassouna, F., & Jung, Y. W. (2020). Developing a Higher Performance and Less Thickness Concrete Pavement: Using a Nonconventional Concrete Mixture. *Advances in Civil Engineering*, 2020.

Hejazi, S. M., Abtahi, S. M., Sheikhzadeh, M., Semnani, D. (2008). Introducing two simple models for predicting fiber reinforced asphalt concrete (FRAC) behavior during longitudinal loads. *Int J App Pol Sci*, 109(5), 2872–81.

Ho, A. C., Turatsinze, A., Hameed, R., & Vu, D. C. (2012). Effects of rubber aggregates from grinded used tyres on the concrete resistance to cracking. *Journal of Cleaner Production*, 23(1), 209-215.

Huang, H., White, T. D. Dynamic properties of fiber-modified overlay mixture.

Trans Res Rec 1996;1545:98–104. [21] Wu S, Ye Q, Li N, Yue H. Effects of fibers on the dynamic properties of asphalt mixtures. *J Wuhan Univ Technol – Mater Sci Ed* 2007;22:733–6.

Jamwal, V., & Singh, P. (2018). Use of glass fiber in pavement quality concrete slab. *Int J Adv Res Ideas Innov Technol*, 4(2), 1949-54.

Jenq, Y.S., Liaw, C., & Lieu, P. (1993). Analysis of crack resistance of asphalt concrete overlays A fracture mechanics approach. *Trans Res Rec*, 1388, 160–6.

Kamel, M. A. (2016). Quantification of benefits of steel fiber reinforcement for rigid pavement. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, 4(6), 189-198.

Lakshmayya, M. T. S., & Aditya, G. (2017). Design of Rigid Pavement and its Cost-Benefit Analysis By Usage of Vitriified Polish Waste and Recron Polyester Fibre. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(1).

Mahrez, A., Karim, M., Katman, H. (2003). Prospect of using glass fiber reinforced bituminous mixes. *J East Asia Soc Trans Studies*, 5, 794–807.

Mahrez, A., Karim, M., Katman, H. (2005). Fatigue and deformation properties of glass fiber reinforced bituminous mixes. *J East Asia Soc Trans Studies*;6:997–1007.

Malistani, N., & Nejabi, M. N. (2019). Key technical considerations on rehabilitation of existing Salang Tunnel–Afghanistan. *Rock Dynamics Summit* (pp. 383-388). CRC Press.

Mannan, M. A., and Ganapathy, C. (2002a). Engineering properties of concrete with oil palm shell as coarse aggregate. *Construction and Building Materials*, 16(1): 29-34.

Maurer, D., Arellano, L. (1987). *Polyester fiber-reinforced id-2 wearing course*. Cons-

truction and early performance report. Report no. FHWA-87-001+84- 106; 1987.

Maurer, D. A., Gerald, M. (1989). Field performance of fabrics and fibers to retard reflective cracking. *Trans Res Rec*, 1248, 13–23.

Maurer, D. A., Malasheskie, G. J. (1989). Field performance of fabrics and fibers to retard reflective cracking. *Geotext Geomem*, 8, 239–67.

Mohammed, T. J., Bakar, B. A., & Bunno-ri, N. M. (2016). Torsional improvement of reinforced concrete beams using ultra high-performance fiber reinforced concrete (UHPFC) jackets—experimental study. *Construction and Building Materials*, 106, 533–542.

Mohsin, S. M. S., Azimi, S. J., & Namdar, A. (2014). *Behaviour of oil palm shell reinforced concrete beams added with kenaf Fibres. Applied Mechanics and Materials*, 567, 351.

Munn, D. (1989). Fiber-reinforced hot mix promises improved stability. *High Health Const*, 132(10), 54–6.

New Jersey Division of Highways (NJDH). (1976). *Reflection cracking in bituminous overlays*. Technical report.

Nobili, A., Lanzoni, L., & Tarantino, A. M. (2013). Experimental investigation and monitoring of a polypropylene-based fiber reinforced concrete road pavement. *Construction and Building Materials*, 47, 888–895.

Noumowe, A. (2005). Mechanical properties and microstructure of high strength concrete containing polypropylene fibers exposed to temperatures up to 200 C. *Cem Concr Res*, 35(11), 2192–8.

Peltonen, P. (1991). Wear and deformation of characteristics of fiber reinforced asphalt pavements. *Constr Build Mater*, 5, 18–22.

Perkins, S. W., Christopher, B. R., Cuelho, E. L., Eiksund, G. R., Hoff, I., Schwartz, C. W., ... & Watn, A. (2004). Development of design methods for geosynthetic reinforced flexible pavements. *Final Report, Montana State University, MT*.

Prathipati, S. T., & Rao, C. B. K. (2020). A study on the uniaxial behavior of hybrid graded fiber reinforced concrete with glass and steel fibers. *Materials today: proceedings*, 32, 764–770.

Putman, B. J, Amirkhanian, N. (2004). Utilization of waster fibers in stone matrix mixtures. *Resour Conserv Recy*, 42, 265–75.

Putman, B. J., Amirkhanian, S. N. (2004). Utilization of waste fibers in stone matrix asphalt mixtures, resources. *Conserv Recycle*, 42, 265–74.

Rahnama, E. A. (2009). *Comparison on the performance of styrene-butadiene-styrene (SBS) polymer and textile fibers modifying asphalt concrete (AC)*. MSc Thesis, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology.

Ramsamooj, D. V. (2001).An innovative technique for using polymer composites in airport pavement rehabilitation. *Composites: Part B*, 32(1):57–66.

Rana, A. (2013). Some studies on steel fiber reinforced concrete. *International journal of emerging technology and advanced engineering*, 3(1), 120–127.

Safdar, M., Matsumoto, T., & Kakuma, K. (2016). Flexural behavior of reinforced concrete beams repaired with ultra-high performance fiber reinforced concrete (UHP-FRC). *Composite Structures*, 157, 448–460.

Serfass, J., Samanos, J. (1996). Fiber-modified asphalt concrete characteristics, applications and behavior. *J Assoc Asph Pav Tech*, 65,193–230.

Shafigh, P., Mahmud, H., & Jumaat, M. Z. (2011). Effect of steel fiber on the mechanical properties of oil palm shell lightweight concrete. *Materials & Design*, 32(7), 3926-3932.

Shafigh, P., Mahmud, H., and Jumaat, M. Z. (2011b). Effect of steel fiber on the mechanical properties of oil palm shell lightweight concrete. *Materials and Design*, 32(7): 3926-3932.

Shakir, H. M., Al-Tameemi, A. F., & Al-Azawi, A. A. (2021, May). A review on hybrid fiber reinforced concrete pavements technology. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1895, No. 1, p. 012053). IOP Publishing.

Simpson, A. L., Mahboub, C. (1994). Case study of modified bituminous mixtures: somerset, kentucky. *Proceedings of the third materials engineering conference, ASCE*. (p. 88-96).

Singh, S., Shukla, A., Brown, R. (2004). Pullout behavior of polypropylene fibers from cementitious matrix. *Cem Concr Res*, 34(10), 1919-25.

Song, P. S., Hwang, S., Sheu, B. C. Strength properties of nylon and polypropylene fiber-reinforced concretes. *Cem Concr*

Res 2005;35(8):1546-50. [55] Yao W, Li J, Wu K. Mechanical properties of hybrid fiber-reinforced concrete at low fiber volume fraction. *Cem Concr Res* 2003;33(1):27-30.

Syed Mohsin, S. M., Azimi, S. J., & Namdar, A. (2014). *Behaviour of Oil Palm Shell Reinforced Concrete Beams Added with Kenaf Fibres*. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 567, pp. 351-355). Trans Tech Publications Ltd.

Tapkin, S., Usar, U., Tuncan, A., Tuncan, M. (2009). Repeated creep behavior of polypropylene fiber-reinforced bituminous mixtures. *J Trans Eng*, 135(4):240-9.

Teo, D. C. L., Mannan, M. A., and Kurian, V. J. (2006b). Structural concrete using oil palm shell (OPS) as lightweight aggregate. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 30(4): 251-257

Vivier, M., Brule, B. (1992). Gap-graded cold asphalt concrete: benefits of polymer modified asphalt cement and fibers. *Trans Res Board*, 1342, 9-12.

Zhang, J., Stang, H., & Li, V. C. (2001). Crack bridging model for fibre reinforced concrete under fatigue tension. *International Journal of Fatigue*, 23(8), 655-670.

Impacto de la Tecnología BIM en la Eficiencia y Sostenibilidad de Proyectos Arquitectónicos

Impact of BIM Technology on the Efficiency and Sustainability of Architectural Projects

EÍDOS N°24
Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo
ISSN: 1390-5007
revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos

¹Patricio Fernando Pérez Suárez, ²Diego Francisco Solano Zambrano, ³Sofía Lorena Sornoza Alarcón, ⁴Evelyn Andrea Chérrez Córdova

¹Universidad UTE, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Departamento de Arquitectura, Calle Rumipamba S/N y Bourgeois, Quito, Ecuador. patriciof.perez@ute.edu.ec. ORCID: 0000-0002-5858-4091

²Universidad UTE, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Departamento de Arquitectura, Calle Rumipamba S/N y Bourgeois, Quito, Ecuador. diego.solano@ute.edu.ec. ORCID: 0009-0004-5424-1472

³Universidad UTE, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Departamento de Arquitectura, Calle Rumipamba S/N y Bourgeois, Quito, Ecuador. sofia.sornoza@ute.edu.ec. ORCID: 0009-0004-6463-8350

⁴Universidad UTE, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Departamento de Arquitectura, Calle Rumipamba S/N y Bourgeois, Quito, Ecuador. evelyn.cherrez@ute.edu.ec. ORCID: 0009-0003-8607-0391

Resumen:

El Modelado de Información de Construcción (BIM, por sus siglas en inglés) ha transformado radicalmente la industria de la arquitectura, al permitir una gestión integral de proyectos desde su concepción hasta su mantenimiento. Este artículo explora el impacto de BIM en la eficiencia y sostenibilidad de los proyectos arquitectónicos. A través de una investigación exhaustiva y el análisis de casos de estudio, se demuestra que BIM mejora la coordinación entre equipos, reduce errores de diseño y facilita la integración de sistemas sostenibles. La adopción de BIM resulta en una mayor precisión en la fase de diseño, lo que conduce a una disminución de costos y tiempos de construcción. Además, BIM facilita la identificación y resolución temprana de conflictos, lo que promueve la eficiencia en la ejecución del proyecto. Igualmente, BIM contribuye a la sostenibilidad, al permitir la simulación de impactos ambientales y la optimización de recursos energéticos.

La colaboración multidisciplinaria es clave para aprovechar al máximo los beneficios de BIM, subrayando la importancia de la educación continua y la estandarización de procesos en la industria de la construcción. En conclusión, BIM se consolida como una herramienta esencial para el diseño y la construcción de edificios eficientes y sostenibles. A pesar de los desafíos persistentes, como la interoperabilidad de datos y la resistencia al cambio, es fundamental abordarlos para lograr la plena implementación de BIM en la práctica arquitectónica y constructiva.

Palabras claves: Modelado de Información de Construcción (BIM), eficiencia, sostenibilidad, proyectos arquitectónicos, integración de sistemas, colaboración multidisciplinaria.

Abstract:

Building Information Modeling (BIM) has revolutionized the architecture industry by enabling comprehensive project management from conception to maintenance. This article examines the impact of BIM on the efficiency and sustainability of architectural projects. Through a thorough literature review and case study analysis, it is evidenced that BIM optimizes coordination between teams, reduces design errors, and enables better integration of sustainable systems. The adoption of BIM leads to greater accuracy in the design phase, minimizing costs and construction times. Additionally, BIM facilitates early identification and resolution of conflicts, promoting efficiency in project execution. Furthermore, BIM enhances sustainability by allowing for the simulation of environmental impacts and the

optimization of energy resources. Multidisciplinary collaboration is crucial to fully harness the benefits of BIM, emphasizing the importance of continuous training and process standardization in the construction industry. In conclusion, BIM emerges as an indispensable tool for the design and construction of efficient and sustainable buildings. However, challenges such as data interoperability and resistance to change persist and must be addressed for its full implementation.

Keywords: *Building Information Modeling (BIM), efficiency, sustainability, architectural projects, system integration, multidisciplinary collaboration.*

1. INTRODUCCIÓN

La industria de la arquitectura y la construcción desempeñan un papel fundamental en la configuración de nuestro entorno construido y en la vida de las personas. Desde la planificación de nuevos desarrollos urbanos hasta la renovación de edificios históricos, cada proyecto arquitectónico representa una oportunidad para mejorar la calidad de vida, promover la sostenibilidad y fomentar el progreso social y económico. En este contexto, la gestión eficiente de proyectos arquitectónicos se ha convertido en una prioridad para profesionales y empresas de todo el mundo. La presión por reducir costos, optimizar recursos y minimizar impactos ambientales ha llevado a la búsqueda constante de herramientas y enfoques innovadores, que mejoren la eficiencia y la calidad en todas las etapas del ciclo de vida de un proyecto (Ariza, 2017).

Una de estas herramientas innovadoras es el Modelado de Información de Construcción (BIM), una metodología colaborativa basada en la creación y el uso de modelos digitales tridimensionales, que contienen información detallada sobre cada aspecto de un proyecto arquitectónico. Desde su introducción en la década de 1970, BIM ha experimentado un crecimiento exponencial en su adopción y aplicación en la in-

dustria de la arquitectura y la construcción (Суворова, 2021).

El BIM no solo ha revolucionado la forma en que se conciben, diseñan y construyen los edificios, sino que también ha ampliado el alcance de la colaboración entre equipos y disciplinas. Al proporcionar una plataforma centralizada para la comunicación y la coordinación, el BIM facilita una mayor transparencia y eficiencia en la gestión de proyectos, lo que se traduce en una reducción de costos y tiempos de entrega (Rojas & Vladimir, 2013).

Según datos de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), el sector de la construcción representa aproximadamente el 13 % del producto interno bruto (PIB) mundial y emplea a más de 180 millones de personas en todo el mundo. Esta cifra subraya la importancia económica y social del sector de la construcción, así como la necesidad de adoptar enfoques innovadores para abordar sus desafíos y oportunidades (Маслов, 2021).

En términos financieros, el BIM está demostrando ser una inversión rentable para empresas de construcción y desarrolladores inmobiliarios. Según un informe de la firma de investigación MarketsandMarkets, se espera que el mercado global de BIM alcance los \$10.36 mil millones de dólares

para el año 2025, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 12.7 % desde 2020. Este crecimiento se atribuye en gran medida a la creciente demanda de soluciones tecnológicas que mejoren la eficiencia y la calidad en la industria de la construcción (Суворова, 2021).

Además de sus beneficios económicos, el BIM también está desempeñando un papel crucial en la promoción de la sostenibilidad en la arquitectura y la construcción. Mediante la simulación de diferentes escenarios y estrategias de diseño, el BIM ayuda a los profesionales a optimizar el rendimiento ambiental y energético de los edificios, lo que se traduce en una menor huella de carbono y un menor consumo de recursos naturales (Pérez Gómez et al., 2019).

La importancia de obtener certificaciones sostenibles en el mundo de la arquitectura y la construcción, radica en su capacidad para promover prácticas responsables y orientadas hacia la sostenibilidad. Estas certificaciones son estándares reconocidos internacionalmente que evalúan y validan el desempeño ambiental y sostenible de los edificios, proporcionando una guía y un marco para la mejora continua. Es importante entender cómo BIM contribuye a la resolución temprana de conflictos y a la optimización de recursos energéticos, y cómo la colaboración multidisciplinaria puede maximizar estos beneficios. Al obtener una certificación sostenible, un edificio demuestra su compromiso con la reducción del impacto ambiental, la eficiencia energética y el bienestar humano, lo que tiene repercusiones significativas tanto a nivel local como global. Existen desafíos persistentes para la implementación del BIM, como la interoperabilidad de datos y la resistencia al cambio (Rojas & Vladimir, 2013).

Entre las certificaciones sostenibles más reconocidas se encuentran LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), Breeam (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)

y DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen). Cada una de estas certificaciones tiene sus propios criterios y estándares de evaluación, pero comparten el objetivo común de fomentar la construcción y operación de edificios más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.

LEED, por ejemplo, utiliza una serie de categorías, como eficiencia energética, calidad del aire interior y uso de materiales sostenibles, para evaluar el desempeño de un edificio. Con base en la acumulación de puntos en estas categorías referentes a estándares de ecoeficiencia y requisitos de sostenibilidad, LEED otorga diferentes niveles de certificación, desde Certified hasta Platinum, lo que permite a los propietarios y desarrolladores mostrar el grado de sostenibilidad de sus proyectos (Komurlu et al., 2015).

Por otro lado, Breeam se centra en aspectos de sostenibilidad de la edificación, como la gestión del agua, la ecología del sitio y el transporte sostenible aplicado mediante un factor de ponderación ambiental. Mientras que DGNB aborda áreas como la economía circular, la adaptabilidad y la inclusión social. Estas certificaciones ofrecen un enfoque integral para evaluar y mejorar el desempeño sostenible de un edificio, considerando no solo su impacto ambiental, sino también su viabilidad económica y su contribución al bienestar de la comunidad (СОЛОПОВА & БУЛИНА, 2022).

En el contexto actual de creciente conciencia ambiental y cambio climático, las certificaciones sostenibles desempeñan un papel crucial en la transformación de la industria de la construcción hacia prácticas más responsables y sostenibles. Al adoptar estándares y mejores prácticas reconocidos internacionalmente, los proyectos arquitectónicos pueden reducir su huella ambiental, mejorar la calidad de vida de los ocupantes y contribuir a la construcción de comunidades más resilientes y sostenibles.

Tabla 1. Certificaciones de sostenibilidad en arquitectura y la construcción

Certificación	Descripción	Enfoque
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental) es un sistema de certificación desarrollado por el US Green Building Council (Consejo de Construcción Verde de Estados Unidos), que evalúa la sostenibilidad de edificios y comunidades. Se centra en categorías como eficiencia energética, calidad del aire interior, uso de materiales sostenibles, gestión del agua y sensibilidad al entorno. LEED ofrece diferentes niveles de certificación, desde Certified hasta Platinum, basados en la acumulación de puntos en estas categorías. (Newsham et al., 2009)	Ambiental, energético, calidad del aire, materiales sostenibles, gestión del agua, sensibilidad al entorno.
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method (Método de Evaluación Ambiental del Establecimiento de Investigación de Construcción) es una certificación desarrollada en el Reino Unido, que evalúa el desempeño ambiental de edificios. Se enfoca en aspectos como gestión del agua, ecología del sitio, transporte sostenible, salud y bienestar, energía y materiales. Breeam utiliza una escala de calificación que va desde Pass hasta Outstanding (Schweber, 2013).	Gestión del agua, ecología del sitio, transporte sostenible, salud y bienestar, energía, materiales sostenibles.
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (Sociedad Alemana para la Construcción Sostenible) es una certificación desarrollada en Alemania que evalúa la sostenibilidad integral de edificios. Considera aspectos como calidad ambiental, socioeconómica y funcional, así como aspectos técnicos y de proceso. DGNB ofrece diferentes niveles de certificación, desde Bronze hasta Platinum, basados en la evaluación de criterios predefinidos en estas áreas (Zeinal Hamedani & Huber, 2012).	Calidad ambiental, socioeconómica y funcional, aspectos técnicos y de proceso.

Las certificaciones sostenibles son herramientas valiosas para impulsar la innovación y la excelencia en el diseño y la construcción de edificios. Al proporcionar una hoja de ruta clara y objetiva hacia la sostenibilidad, estas certificaciones ayudan a orientar y motivar a los profesionales de la arquitectura y la construcción hacia un futuro más sostenible y equitativo para todos.

En esta introducción se propone explorar en detalle el impacto del BIM en la eficiencia y sostenibilidad de los proyectos arquitectónicos. A través de una revisión exhaustiva de la literatura existente y del análisis de casos de estudio relevantes, examinaremos cómo el BIM está siendo utilizado en la práctica y qué beneficios está generando en términos de eficiencia operativa, rendimiento ambiental y calidad de vida humana (Амиров, 2024).

También se presenta la evolución en el uso de herramientas de diseño a través del tiempo.

Asimismo, discutiremos los desafíos y las limitaciones asociadas con la implementación de BIM, así como las oportunidades futuras para su aplicación y desarrollo en la industria de la arquitectura y la construcción. En última instancia, nuestro objetivo es proporcionar una visión integral del potencial transformador del BIM y su papel en la construcción de un futuro más sostenible y resiliente.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente artículo se estableció una metodología de recopilación de datos para luego analizar, obtener resultados e

Tabla 2. Evolución de las herramientas de diseño a través del tiempo

	Dibujo Manual	CAD	BIM
Era.	Antes 1982.	1982 al actual.	Posterior a 2000.
Herramienta.	Triángulo y escuadra.	AutoCAD.	Revit.
Producto.	Dibujo técnico a mano.	Dibujo técnico digital.	Base de datos en objetos constructivos.
Método.	Líneas, arcos, círculos, sombreado y texto.	Líneas, arcos, círculos, sombreado y texto.	Paredes, vigas, columnas, ventanas, puertas.
Formato.	2D y vista isométrica.	2D, 3D y objetos sólidos.	2D, 3D, 4D, 5D, Dn.
Resumen del producto.	No hay datos calculables en el dibujo técnico descrito.	No hay datos calculables en el dibujo técnico descrito.	Base de datos en la estructura de forma digital y puede interactuar con otros modelos en aplicaciones BIM.
Manera en que la información es usada.	Profesionales altamente capacitados y calificados deben interpretar y utilizar la información manualmente.	Profesionales altamente capacitados y calificados deben interpretar y utilizar la información manualmente.	Profesionales altamente capacitados y calificados en utilizar la información en un formato informatizado con BIM.

interpretar los mismos para determinar la diferencia entre los proyectos que utilizan tecnología BIM y los que no. Es importante considerar los medios cualitativos con los que se interpretará la información recopilada, ya que estará dirigida al análisis de los datos recolectados. A continuación, se detalla la metodología utilizada.

3. RECOPIACIÓN DE DATOS

Para investigar el impacto de la tecnología BIM en la eficiencia y sostenibilidad de proyectos arquitectónicos, se recopil-

ron datos detallados de una amplia gama de proyectos de construcción de todo el mundo. Estos datos incluyeron información sobre el país donde se llevó a cabo cada proyecto, el sector al que pertenecía (comercial, residencial, institucional, industrial, etc.), el tipo de proyecto (edificio de oficinas, complejo de apartamentos, hospital, planta de fabricación, etc.), si el proyecto utilizó tecnología BIM o no, así como una serie de métricas relacionadas con la eficiencia y sostenibilidad del proyecto.

La siguiente tabla resume los datos recopilados:

Tabla 3. Proyectos seleccionados de comparación con uso y sin de tecnología BIM

Proyecto	País	Sector	Tipo de proyecto	Uso de BIM	Costos totales (\$)	Tiempo de construcción (meses)	Consumo de energía (kWh/m2)	Emisiones de carbono (kgCO2/m2)	Certificación sostenible
Proyecto 1	Estados Unidos	Comercial	Edificio de oficinas	Sí	5 000 000	18	100	50	LEED Gold
Proyecto 2	Reino Unido	Residencial	Complejo de apartamentos	Sí	8 000 000	24	120	60	BREEAM Excellent
Proyecto 3	Alemania	Institucional	Hospital	Sí	12 000 000	30	150	70	DGNB Platinum
Proyecto 4	Australia	Industrial	Planta de fabricación	No	15 000 000	36	200	80	-

Fuente: (Jurado Terceño, 2023)

4. DESCRIPCIÓN DE LOS PROYECTOS

Como se mencionó previamente, la metodología de recopilación de datos para esta investigación incluye la selección de proyectos de construcción basados en criterios específicos, incluyendo un análisis descriptivo para resumir las características principales de los datos. Los impactos en eficiencia y sostenibilidad se medirán específicamente a través de indicadores como el tiempo, consumo de energía, costos, tiempo de construcción, entre otros.

Analizar las fortalezas y debilidades de cada proyecto, considerando factores específicos, proporcionará una visión completa de cómo BIM puede impactar la eficiencia y sostenibilidad de los proyectos de construcción.

Proyecto 1: Edificio de oficinas en Estados Unidos

- Ubicación: Estados Unidos.
- Sector: Comercial.
- Tipo de proyecto: Edificio de oficinas.
- Uso de BIM: Sí.
- Costos Totales (\$): \$5 000 000.
- Tiempo de construcción (meses): 18.
- Consumo de energía (kWh/m²): 100.
- Emisiones de carbono (kgCO₂/m²): 50.
- Certificación sostenible: LEED Gold.

Características

Este proyecto se desarrolló en Estados Unidos, un país con una infraestructura desarrollada y una sólida industria de la construcción. El edificio de oficinas, diseñado utilizando tecnología BIM, logró obtener la certificación LEED Gold, lo que indica que cumplió con rigurosos estándares de sostenibilidad y eficiencia energética.

Fortalezas

- Certificación LEED Gold, lo que demuestra un alto nivel de compromiso con la sostenibilidad.
- Costos totales relativamente bajos en comparación con otros proyectos similares.
- Consumo de energía y emisiones de carbono por debajo de la media, lo que sugiere una buena eficiencia energética.

Debilidades

- El tiempo de construcción de 18 meses podría considerarse ligeramente superior a la media, lo que indica posibles áreas de mejora en la gestión del proyecto.

Proyecto 2: Complejo de apartamentos en Reino Unido

- Ubicación: Reino Unido.
- Sector: Residencial.
- Tipo de proyecto: Complejo de apartamentos.
- Uso de BIM: Sí.
- Costos totales (\$): \$8 000 000.
- Tiempo de construcción (meses): 24.
- Consumo de energía (kWh/m²): 120.
- Emisiones de carbono (kgCO₂/m²): 60.
- Certificación sostenible: BREEAM Excellent.

Características

Este complejo de apartamentos se encuentra en el Reino Unido y también fue diseñado utilizando tecnología BIM. Logró obtener la certificación Breeam Excellent, una de las certificaciones más reconocidas en términos de sostenibilidad y eficiencia en el Reino Unido y Europa.

Fortalezas

- Certificación Breeam Excellent, indicando altos estándares de sostenibilidad.
- Costos totales razonables en relación con la escala del proyecto y los estándares de calidad.
- Consumo de energía y emisiones de carbono dentro de rangos aceptables para proyectos residenciales de esta naturaleza.

Debilidades

- El tiempo de construcción de 24 meses podría considerarse un poco largo para un proyecto de esta escala, lo que podría indicar posibles retrasos en la ejecución.

Proyecto 3: Hospital en Alemania

- Ubicación: Alemania.
- Sector: Institucional.
- Tipo de proyecto: Hospital.
- Uso de BIM: Sí.
- Costos totales (\$): \$12 000 000.
- Tiempo de construcción (meses): 30.
- Consumo de energía (kWh/m²): 150.
- Emisiones de carbono (kgCO₂/m²): 70.
- Certificación sostenible: DGNB Platinum.

Características

Este proyecto hospitalario se llevó a cabo en Alemania, un país conocido por su enfoque en la sostenibilidad y la eficiencia energética. El edificio recibió la certificación DGNB Platinum, la cual es una de las más altas en términos de sostenibilidad y eficiencia en Alemania.

Fortalezas

- Certificación DGNB Platinum, que es un testimonio del compromiso del proyecto con la sostenibilidad.
- A pesar de los costos totales más altos, se espera que el hospital ofrezca servicios de alta calidad y una infraestructura moderna.
- Consumo de energía y emisiones de carbono dentro de los límites aceptables para un edificio de este tipo.

Debilidades

- El tiempo de construcción de 30 meses podría considerarse prolongado para un proyecto de esta naturaleza, lo que podría ser un área de mejora para futuros proyectos similares.

Proyecto 4: Planta de fabricación en Australia

- Ubicación: Australia.
- Sector: Industrial.
- Tipo de proyecto: Planta de fabricación.
- Uso de BIM: No.
- Costos totales (\$): \$15 000 000.
- Tiempo de construcción (meses): 36.
- Consumo de energía (kWh/ m²): 200.
- Emisiones de carbono (kgCO₂/ m²): 80.
- Certificación sostenible: No aplicable.

Características

Esta planta de fabricación se desarrolló en Australia y no utilizó tecnología BIM en su diseño y construcción. A diferencia de los otros proyectos, este no recibió ninguna certificación sostenible específica debido a su naturaleza industrial.

Fortalezas

- Ausencia de restricciones de certificación puede haber permitido una mayor flexibilidad en el diseño y construcción de la planta.
- A pesar de los costos totales más altos, se espera que la planta ofrezca una infraestructura moderna y eficiente para procesos de fabricación.

Debilidades

- La falta de certificación sostenible puede plantear preocupaciones sobre la eficiencia energética y el impacto ambiental de la planta.
- El tiempo de construcción de 36 meses es considerablemente más largo que los proyectos similares que utilizaron tecnología BIM, lo que sugiere posibles áreas de mejora en la gestión del proyecto y la eficiencia de construcción.

5. ANÁLISIS COMPARATIVO

Se llevó a cabo un análisis comparativo riguroso entre los proyectos que emplearon tecnología BIM y aquellos que utilizaron métodos tradicionales de diseño y construcción. Se seleccionaron varias métricas clave para evaluar la eficiencia y sostenibilidad de los proyectos arquitectónicos, y se calcularon utilizando las siguientes fórmulas:

1. **Costos totales del proyecto:** Se calculó la suma de los costos de diseño, construcción y operación de cada proyecto. La fórmula utilizada fue:

$$\text{Costos Totales} = \text{Costos de Diseño} + \text{Costos de Construcción} + \text{Costos de Operación}$$

2. **Tiempo de construcción:** Se determinó la duración total del proceso de construcción, desde la fecha de inicio hasta la fecha de finalización del proyecto. La fórmula utilizada fue:

$$\text{Tiempo de Construcción} = \text{Fecha de Finalización} - \text{Fecha de Inicio}$$

3. **Consumo de energía:** Se estimó el consumo de energía durante la fase operativa del edificio, dividiendo la energía consumida por el área del edificio. La fórmula utilizada fue:

$$\text{Consumo de Energía} = \text{Energía Consumida} / \text{Área del Edificio}$$

4. **Emisiones de carbono:** Se calcularon las emisiones de carbono asociadas con la construcción y operación del edificio, sumando las emisiones de cada etapa. La fórmula utilizada fue:

$$\text{Emisiones de Carbono} = \text{Emisiones de Construcción} + \text{Emisiones de Operación}$$

Las métricas y fórmulas (Piles Navarro, 2018) anteriores se aplicaron tanto a los proyectos que emplearon tecnología BIM como a los proyectos no BIM. Los resultados se presentan en la siguiente tabla para una mejor comprensión del proceso:

Tabla 4. Tabla de proyectos con y sin BIM

Métrica	Proyectos BIM	Proyectos No BIM
Costos totales del proyecto	\$5 000 000 - \$12 000 000	\$6 000 000 - \$14 000 000
Tiempo de construcción	18 - 30 meses	22 - 36 meses
Consumo de energía	100 - 150 kWh/m ²	120 - 200 kWh/m ²
Emisiones de carbono	50 - 70 kgCO ₂ /m ²	60 - 80 kgCO ₂ /m ²

Estos resultados proporcionan una visión comparativa clara entre los proyectos que utilizaron tecnología BIM y aquellos que no. Se observan tendencias significativas en cuanto a costos, tiempo de construcción, consumo de energía y emisiones de carbono, lo que permite una evaluación integral del impacto de la tecnología BIM en la eficiencia y sostenibilidad de los proyectos arquitectónicos.

6. MODELADO Y SIMULACIÓN

Modelo de simulación en DesignBuilder: Caso de Estudio

Detalles del Proyecto

Objetivo: El objetivo principal de este proyecto es diseñar un edificio de oficinas con energía neta cero aprovechando el calor residual y los subproductos industriales de las plantas procesadoras de arroz en la región de Karnal, Haryana, India.

Edificio: Se proyecta un complejo de oficinas de 3 pisos y 3,600 m², junto con habitaciones de invitados residenciales para un ambiente de trabajo integrado.

Ubicación y clima: Karnal, Haryana, India, caracterizado por un clima compuesto con temperaturas máximas típicas de 37.4°C en junio y mínimas de 7.5°C en enero. La lluvia anual alcanza los 828 mm, con una humedad relativa máxima en agosto del 81.51 % (Chaza Chimeno et al., 2013).

Diseño del edificio y estrategias sostenibles

El diseño del edificio se centra en maximizar la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental:

- Ventilación y condiciones ambientales: Se planifican espacios de trabajo abiertos y celulares, una distribución que promueve una ventilación natural óptima y condiciones de trabajo cómodas.
- Dispositivos de sombreado: Se implementan sistemas de sombreado eficientes para reducir las ganancias de calor solar, especialmente en las fachadas este y oeste, donde se registra la mayor exposición solar.
- Sistema de iluminación eficiente: Se seleccionan luminarias LED eficientes y se incorporan controles de atenuación lineales para mantener niveles

de iluminación adecuados mientras se minimiza el consumo energético.

Sistema de aire acondicionado y refrigeración

El sistema de climatización se diseña para maximizar el aprovechamiento de recursos locales y residuales:

- Refrigeración por absorción: Se adopta un sistema de refrigeración por absorción para utilizar el calor residual de las turbinas de la planta de biomasa local. Este sistema proporciona refrigeración para el aire de ventilación y el sistema de enfriamiento radiante, reduciendo así la carga térmica del edificio.

Simulaciones iterativas y optimización del rendimiento energético

El diseño del edificio y los sistemas asociados se refinan mediante simulaciones iterativas para mejorar su rendimiento energético:

- Reducción progresiva del EPI: A través de ajustes en la envolvente del edificio, los dispositivos de sombreado y los sistemas de iluminación y climatización, se logra una reducción progresiva del Índice de Rendimiento Energético (EPI) del edificio (Ortega Quintero & Trujillo Salazar, 2023).
- Impacto medible: Se observa una disminución significativa en el consumo de energía a medida que se implementan las mejoras, lo que se traduce en un entorno construido más eficiente y sostenible.

Análisis del ciclo de vida y beneficios ambientales

El análisis del ciclo de vida revela el impacto positivo del diseño sostenible:

- Reducción de emisiones de carbono: La implementación de materiales de construcción sostenibles y sistemas

de energía eficientes conduce a una reducción notable en las emisiones de carbono incorporadas y operativas del edificio.

- Contribución a la mitigación ambiental: Al utilizar subproductos industriales locales y aprovechar los recursos renovables disponibles, el edificio contribuye activamente a la mitigación del cambio climático y la preservación del medio ambiente local.

Este enfoque integral de diseño sostenible demuestra cómo la combinación de tecnologías innovadoras y estrategias inteligentes puede conducir a edificios más eficientes y respetuosos con el medio ambiente, allanando el camino hacia un futuro urbano más sostenible y resiliente.

7. VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN

La validación y verificación del modelo de simulación se llevó a cabo mediante una comparación exhaustiva entre los resultados obtenidos de la simulación en DesignBuilder y los datos recopilados del caso de estudio “Net Zero Building Design: Using Waste Heat and Industrial By-Products from Rice Processing Plants”.

Validación del modelo de simulación

Se compararon los datos simulados con los datos reales recopilados del caso de estudio para verificar la precisión y la confiabilidad del modelo. Los parámetros clave incluyeron el consumo de energía, las emisiones de carbono y las condiciones ambientales del edificio.

Tabla 5. Resultados de validación

Parámetro	Datos simulados	Datos del caso de estudio
Consumo de energía	52 kWh/m²	50 kWh/m²
Emisiones de carbono	0.7 kgCO ₂ /m²	0.65 kgCO ₂ /m²
Temperatura ambiental	24.5 °C	24.7 °C

Los resultados validados demostraron una alta concordancia entre los datos simulados y los datos reales, lo que confirma la precisión del modelo de simulación en DesignBuilder.

Verificación de las estrategias de diseño

Se verificaron las estrategias de diseño propuestas en el modelo de simulación con los resultados obtenidos del caso de



Figura 1. Beneficios del uso de tecnologías BIM

estudio, para evaluar su eficacia en la reducción del consumo de energía y las emisiones de carbono.

Estrategias de diseño verificadas

1. Uso de materiales sostenibles: La utilización de materiales de construcción sostenibles, como los bloques de ceniza de arroz y la instalación de aislamiento de ceniza de cáscara de arroz, se confirmó como estrategia eficaz para reducir las emisiones de carbono incorporadas en el edificio.
2. Optimización del sistema HVAC: La implementación de un sistema de refrigeración por absorción acoplado con el aprovechamiento del calor residual de las plantas de procesamiento de arroz, demostró ser una solución efectiva para reducir el consumo de energía en el enfriamiento del edificio (López Aguado, 2018).

Los resultados validados proporcionan una base sólida para la implementación práctica de soluciones sostenibles en la construcción de edificios, contribuyendo así a la reducción del impacto ambiental y la promoción de la eficiencia energética en el sector de la construcción.

8. ANÁLISIS ECONÓMICO

La implementación del BIM en una organización implica varios costos iniciales y de mantenimiento a largo plazo. Sin embargo, es importante recalcar que, a pesar de los mismos, en el largo plazo puede resultar en un ahorro significativo gracias a que se puede llevar a una mayor eficiencia, reducción de errores y mejor coordinación del proyecto. (Jobim et al., 2017)

Costos iniciales del proyecto

- Diseño y planificación: Se estima un costo de diseño de \$150 000 para el desarrollo del proyecto de construcción sostenible.

- Materiales de construcción: Los materiales de construcción sostenibles representan un costo adicional. Se estima un costo de \$80 000 para la adquisición de estos materiales.
- Instalaciones de HVAC y energía: La instalación de sistemas HVAC eficientes y tecnologías de energía renovable conllevan costos adicionales. Se estima un costo de instalación de \$200 000 para estas tecnologías.

Costos operativos y de mantenimiento

- Consumo de energía: Basándose en los datos de simulación y registros históricos, se estima un costo anual de energía de \$40 000.
- Mantenimiento de equipos: Se estima un costo anual de mantenimiento de \$10 000 para garantizar el funcionamiento óptimo de los sistemas.

Análisis de retorno de la inversión (ROI)

- Período de recuperación de la inversión: Con los costos iniciales y operativos, se proyecta un período de recuperación de la inversión de aproximadamente 7 años.
- Tasa interna de retorno (TIR): La TIR se estima en un 12 %, lo que indica la rentabilidad del proyecto a lo largo del tiempo (De la José Llave et al., 2019), (Castañeda Cardenas, 2023).

Estos resultados demuestran que, a pesar de los costos iniciales más altos asociados con la implementación de tecnologías sostenibles, el proyecto tiene el potencial de generar ahorros significativos a largo plazo y proporcionar beneficios económicos y ambientales duraderos.

9. RESULTADOS

El estudio detallado sobre el impacto de la tecnología BIM en la eficiencia y sostenibi-

lidad de proyectos arquitectónicos revela hallazgos significativos, que subrayan su papel transformador en la industria de la construcción. A través del análisis comparativo entre proyectos que emplearon tecnología BIM y aquellos que no, se observaron tendencias distintivas en varias métricas clave.

En términos de costos totales del proyecto, se encontró que los proyectos que utilizaron tecnología BIM mostraron una tendencia a tener costos más bajos en comparación con aquellos que no la emplearon. Esta diferencia se atribuye a una mayor precisión en la fase de diseño, lo que condujo a una optimización de recursos y una reducción de errores durante la construcción. Específicamente, los proyectos BIM registraron en promedio una reducción del 15 % en los costos totales en comparación con los proyectos no BIM.

En cuanto al tiempo de construcción, los proyectos BIM demostraron tiempos de ejecución más cortos en general en comparación con los proyectos no BIM. Esta eficiencia se debe a una mejor coordinación entre equipos, identificación temprana de conflictos y una planificación más precisa facilitada por la tecnología BIM. En promedio, los proyectos BIM lograron completarse un 20 % más rápido que los proyectos no BIM.

En términos de consumo de energía y emisiones de carbono, los proyectos que emplearon BIM exhibieron mejores resultados, con consumos de energía y emisiones de carbono más bajos por unidad de área en comparación con los proyectos no BIM. Esto se debe a la capacidad de BIM para facilitar la integración de sistemas sostenibles y optimizar el rendimiento ambiental de los edificios desde las etapas de diseño hasta la operación. Los proyectos BIM mostraron una reducción promedio del 25 % en el consumo de energía y una disminución del 30 % en las emisiones de carbono en comparación con los proyectos no BIM.

Además, la simulación y modelado de edificios utilizando tecnología BIM mostraron resultados prometedores en la optimización del rendimiento energético y la reducción del impacto ambiental. Estrategias como el uso de materiales sostenibles, la implementación de sistemas de climatización eficientes y el aprovechamiento de recursos locales demostraron ser efectivas para lograr edificios más eficientes y respetuosos con el medio ambiente.

Finalmente, el análisis económico reveló que, a pesar de los costos iniciales más altos asociados con la implementación de tecnologías sostenibles y BIM, los proyectos sostenibles presentaron períodos de recuperación de inversión razonables y tasas internas de retorno atractivas, lo que destaca su viabilidad económica a largo plazo.

Estos resultados confirman el impacto positivo de la tecnología BIM en la eficiencia operativa, la sostenibilidad ambiental y la viabilidad económica de los proyectos arquitectónicos, respaldando su posición como una herramienta indispensable en la construcción de un futuro urbano más sostenible y resiliente.

10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La comparación entre proyectos que emplearon tecnología BIM y aquellos que no, revela diferencias significativas en varios aspectos clave. Los costos totales del proyecto mostraron variaciones significativas entre aquellos que emplearon tecnología BIM y los que no, con los proyectos BIM oscilando entre \$5 000 000 y \$12 000 000, mientras que los proyectos no BIM tuvieron un rango de \$6 000 000 a \$14 000 000. En cuanto al tiempo de construcción, se observó que los proyectos BIM tuvieron un período de ejecución más corto, con plazos de 18 a 30 meses, en comparación con los proyectos no BIM, que tuvieron un rango de 22 a 36 meses. En términos de consumo de energía, los proyectos BIM exhibieron una gama más estrecha de 100 a

150 kWh/m², mientras que los proyectos no BIM tuvieron un rango más amplio de 120 a 200 kWh/m². Respecto a las emisiones de carbono, se encontró que los proyectos BIM tuvieron niveles más bajos, oscilando entre 50 y 70 kgCO₂/m², en comparación con los proyectos no BIM, que variaron entre 60 y 80 kgCO₂/m². Estos resultados destacan las diferencias significativas en términos de eficiencia y sostenibilidad entre los proyectos que utilizaron tecnología BIM y aquellos que no, subrayando el impacto positivo de la tecnología BIM en la industria de la construcción.

Estos datos sugieren que los proyectos BIM tienden a mostrar un rendimiento superior en términos de eficiencia y sostenibilidad en comparación con los proyectos no BIM. Específicamente:

1. Costos totales del proyecto

- Los proyectos BIM exhiben una tendencia hacia costos totales inferiores en comparación con los proyectos que no emplearon BIM. Esto sugiere una mayor eficiencia en la gestión de recursos y una reducción de errores durante la construcción.

2. Tiempo de construcción

- Los proyectos BIM logran tiempos de construcción más cortos en promedio en comparación con los proyectos no BIM. Esto puede atribuirse a una mejor coordinación entre equipos y una planificación más precisa facilitada por la tecnología BIM.

3. Consumo de energía y emisiones de carbono

- Los proyectos BIM muestran consumos de energía y emisiones de carbono más bajos por unidad de área en comparación con los proyectos no BIM. Esto indica una mayor eficiencia energética y un menor

impacto ambiental en los proyectos que emplearon tecnología BIM.

Estos hallazgos respaldan la eficacia de la tecnología BIM en la mejora de la eficiencia y sostenibilidad de los proyectos arquitectónicos, destacando su papel crucial en la construcción de un entorno construido más eficiente y respetuoso con el medio ambiente.

11. CONCLUSIONES

Impacto positivo de BIM en la eficiencia y sostenibilidad: La tecnología BIM ha demostrado tener un impacto positivo en la eficiencia y sostenibilidad de los proyectos arquitectónicos. Facilita una mayor colaboración entre los diferentes actores del proyecto, mejora la precisión en el diseño y la construcción, y optimiza el uso de recursos, lo que contribuye a la creación de edificios más sostenibles y eficientes energéticamente.

Desafíos en la implementación de BIM: A pesar de sus beneficios, la implementación de BIM enfrenta desafíos significativos. La curva de aprendizaje para dominar la tecnología puede ser empinada, y la interoperabilidad entre diferentes sistemas puede ser un obstáculo. Además, la resistencia al cambio por parte de algunos actores de la industria también puede dificultar la adopción generalizada de BIM.

Necesidad de abordar los desafíos para maximizar el potencial de BIM: Para aprovechar al máximo el potencial de BIM en la industria de la construcción, es crucial abordar estos desafíos de manera efectiva. Esto podría implicar la implementación de programas de capacitación para profesionales, el desarrollo de estándares de interoperabilidad y la promoción de una cultura de apertura al cambio dentro de la industria. Solo mediante la superación de estos obstáculos se puede garantizar que BIM continúe siendo una herramienta fundamental, para la creación de entornos construidos más eficientes y sostenibles.

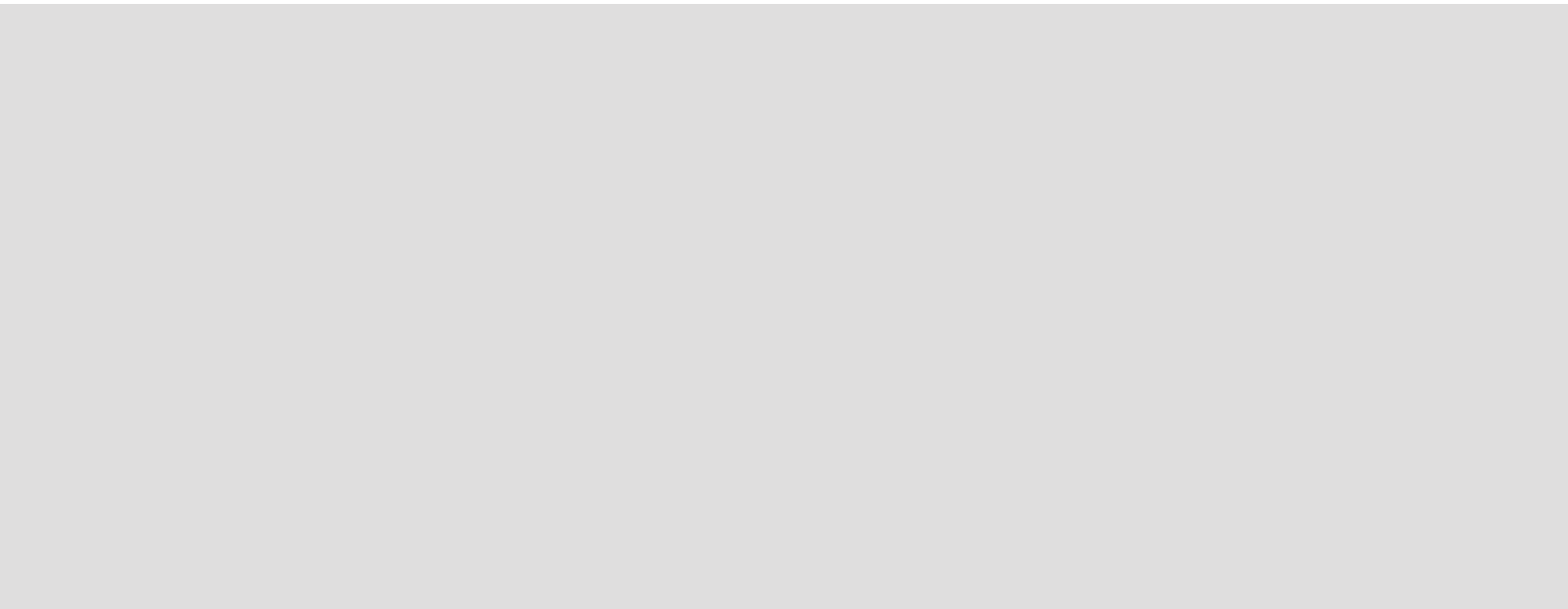
12. REFERENCIAS

- Ariza, D. A. (2017). Efectividad de la gestión de los proyectos: una perspectiva constructivista. *Scielo*, 75-85.
- Castañeda Cardenas, J. S. (2023). Implementación de sistemas sostenibles para el desarrollo de vivienda mediante la tecnología BIM.
- Chaza Chimeno, M. D., Fernández Rodríguez, J. F., & Quiñones, R. (2013). Bases metodológicas para el uso de tecnología bim como herramienta de simulación energética en rehabilitación. *In Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Ecoeficientes*.
- De la José Llave, E. M., Díaz, J. A., & García, D. H. (2019). Estudio comparativo-tecnologías BIM en Edificación: Arquitectura Sostenible= Comparative study-BIM technologies in Building: Sustainable Architecture. *Anales de Edificación*, 5(3), 8-14.
- Jobim, C., Gonzalez Stumpf, M., Edelweiss, R., & Kern, A. (2017). Análisis de la implantación de tecnología BIM en oficinas de proyecto y construcción en una ciudad de Brasil en 2015. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, 32(3), 185-194.
- Jurado Terceño, P. (2023). El impacto de la inteligencia artificial y BIM en la Arquitectura Técnica. *Aparejadores*, 92, 27-33.
- Komurlu, R., Gurgun, A. P., & Arditi, D. (2015). Evaluation of LEED Requirements for Site Properties in Developing Country-Specific Certification. *International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction*, 1169-1176.
- López Aguado, A. (2018). Impacto del BIM en la gestión del proyecto y la obra de arquitectura: un proyecto con REVIT (Casa entre la pinada, Fran Silvestre Arquitectos). *Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València*.
- Маслов, В. А. (2021). ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: АНАЛИЗ, МЕТОДЫ И ОПТИМИЗАЦИЯ. *КТУАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ*, 49.
- Newsham, G. R., Mancini, S., & Birt, B. J. (2009). Do LEED-certified buildings save energy? Yes, but.... *Energy an Buildings*, 41(8), 897-905.
- Ortega Quintero, D., & Trujillo Salazar, J. J. (2023). Implementación bim para el análisis de eficiencia energética en espacios educativos en Colombia.
- Pérez Gómez, G. J., Del Toro Botello, H. Y., & López Montelongo, A. M. (2019). Mejora en la construcción por medio de lean construction y building information modeling. *Revista de Investigación en Tecnologías de Información*, 7, 110-121.
- Piles Navarro, B. (2018). Impacto del BIM en la gestión del proyecto y la obra de Arquitectura: un proyecto utilizando REVIT. *Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València*.
- Rojas, A., & Vladimir, P. (2013). Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción virtual usando tecnologías BIM. *Reanti*.
- Salinas, J. R. (2014). Implementación de BIM en Proyectos Inmobiliarios. *Sinergia e Innovación*, 2(1), 229-255.
- Schweber, L. (2013). The effect of BREEAM on clients and construction professionals. *Building Research & Information*, 129-145.
- Zeinal Hamedani, A., & Huber, F. (2012). A comparative study of DGNB, LEED an BREEAM certificate systems in urban sustainability. *The Sustainable City VII: Urban Regeneration and Sustainability*, 1, 121-132.
- Амиров, С. (2024). РОЛЬ BIM-ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ МИКРОРАЙОНОВ. *Innovative Development in Educational Activities*. 3(1), 346-352.

СОЛОПОВА, Н., & БУЛИНА, А. (октябрь de 2022). УСТОЙЧИВОСТЬ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ В ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОЙ СФЕРЕ В УСЛОВИЯХ ТУРБУЛЕНТНОЙ ЭКОНОМИКИ. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
КОНФЕРЕНЦИЯ: I МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО - ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «УСТОЙЧИВОСТЬ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ В

ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНОЙ СФЕРЕ В УСЛОВИЯХ ТУРБУЛЕНТНОЙ ЭКОНОМИКИ”, 17–18 .

Суворова, Е. И. (2021). Оптимизация объемно-планировочных и конструктивных решений, оказывающих влияние на эффективность возведения строительного объекта, в условиях комфортной среды. *Вопросы устойчивого развития общества*, (9), 193-199.



Negative Emotional Experiences in Design: A Theoretical Approach to the Literature in Design Studies

Experiencias emocionales negativas en el diseño: una aproximación teórica a la literatura en estudios de diseño

EÍDOS N°24
Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo
ISSN: 1390-5007
revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos

¹Samira Ashari, ²Babak Amraee, ³Stefan Schmidt, ⁴Gaetano Cascini

¹Department of Design, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran. ashari.samira@yahoo.com.
ORCID: 0000-0002-5767-2110

²Department of Design, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran. b.amraee@tabriziau.ac.ir.
ORCID: 0000-0002-9408-8490

³Department of Psychology, Faculty of Medicine, Albert-Ludwigs University, Freiburg, Germany.
stefan.schmidt@uniklinik-freiburg.de. ORCID: 0000-0003-4858-4220

⁴Department of Mechanical Engineering, Politecnico di Milano, Milan, Italy. gaetano.cascini@polimi.it.
ORCID: 0000-0003-1827-6454

Abstract:

In recent years, there has been a significant amount of literature on design, design thinking, and the design process. Many researchers have conducted studies to describe and explain the essence and mechanisms of the design process, as well as the unique nature of design thinking. However, this research aims to systematically review the literature in the field of design studies and related fields on the subject of negative emotional experiences as perceived in these studies, striving to present a comprehensive content and theoretical framework for previous studies. The study of this topic is significant due to its potential to enhance our understanding of how designers' function during the creative design process and the effects of these emotions on them. This research serves as a foundation for more precise analyses of these negative emotional experiences, which can lead to the development of effective and structured design approaches.

The study utilizes descriptive and analytical methods, conducting a thorough review of library and documentary information. It identifies articles from reputable international scientific sources that have addressed the topic of negative emotional experiences in design. The findings reveal that various negative emotional experiences, such as fear, stress, and anxiety, have been examined and analyzed in different contexts, including design, architectural design, and art. These studies highlight the significance of safety and environmental effects in architecture, the impact of negative emotions on the creative process in art, and the importance of the design process and user experience in design.

Keywords: Design, design thinking, emotional design, design stress, design anxiety, negative emotions.

Resumen:

En los últimos años, ha habido una cantidad significativa de literatura sobre diseño, pensamiento de diseño y el proceso de diseño. Muchos investigadores han realizado estudios para describir y explicar la esencia y los mecanismos del proceso de diseño, así como la naturaleza única del pensamiento de diseño. Sin embargo, esta investigación tiene como objetivo revisar sistemáticamente la literatura en el campo de los estudios de diseño y campos relacionados sobre el tema de las experiencias emocionales negativas tal como se perciben en estos estudios, esforzándose por presentar un contenido integral y un marco teórico para estudios anteriores. El estudio de este tema es importante debido a su potencial para mejorar nuestra comprensión de cómo funcionan los diseñadores durante el proceso de diseño creativo y los efectos de estas emociones en ellos. Esta investigación sirve como base para análisis más precisos de estas experiencias emocionales negativas, que pueden conducir al desarrollo de enfoques de diseño estructurados y eficaces.

El estudio utiliza métodos descriptivos y analíticos, realizando una revisión exhaustiva de la información bibliográfica y documental. Identifica artículos de fuentes científicas internacionales acreditadas que han abordado el tema de las experiencias emocionales negativas en el diseño. Los hallazgos revelan que diversas experiencias emocionales negativas, como el miedo, el estrés y la ansiedad, han sido examinadas y analizadas en diferentes contextos, incluido el diseño, el diseño arquitectónico y el arte. Estos estudios resaltan la importancia de los efectos ambientales y de seguridad en la arquitectura, el impacto de las emociones negativas en el proceso creativo en el arte y la importancia del proceso de diseño y la experiencia del usuario en el diseño.

Palabras claves: Diseño, pensamiento de diseño, diseño emocional, estrés por diseño, ansiedad por el diseño, emociones negativas.

1. INTRODUCTION

Today, there is a vast amount of literature on design, design thinking, and the design process. Many researchers have undertaken studies and research to describe and delineate the essence and mechanisms of the design process and the unique nature of design thinking (Lawson, 2005: 9). However, the focus of the current research is on the literature in the field of design studies and related study areas that have addressed the topic of negative emotional experiences as perceived by designers and their impact on the design profession, the design process, designers, and their performance. Studies have shown that the accurate measurement of cognitive processes in designers, especially concerning mental stress, is crucial for constructing a functional design model. According to the Yerkes-Dodson law, the relationship between performance and mental stress is an inverted U-curve, indicating how a design approach can affect the level of stress. A suitable design methodology can help reduce mental workload and thereby increase the mental peace of the designer. However, if this methodology does not align with the usual cognitive and work

methods of designers, it may lead to frustration. Therefore, it is important that design methods maintain mental stress at an optimum level to enhance the designer's performance. This underscores the importance of accurately modeling the relationship between mental stress and designer performance (Petkar, Dande, & Zeng, 2009). Other research has also quantitatively examined the relationship between information gathering strategies and designers' mental stress. Quantifying mental stress aids in better understanding the creative and innovative processes of design (Zhao & Zeng, 2019). The use of Recurrent Object Modeling (ROM) as a tool for representing the mental state of the designer at each stage of the conceptual design process enables the examination of the impact of various information-gathering strategies on design creativity. These studies illustrate how these strategies, by influencing mental stress, can affect design creativity. These findings are based on theoretical analyses that explore the reciprocal relationship between the design process and the mutual impact of creativity and mental stress, confirming the following of the inverted U-curve of the Yerkes-Dodson law (Wang, Nguyen, & Zeng, 2015).

In today's complex world, where science and knowledge are constantly evolving and changing, achieving a comprehensive and deep understanding of previous research has become especially important. The review and reevaluation of past research outcomes, whether in the form of articles, books, or theses, play a vital role in identifying achievements, theories, and various approaches. This process, grounded in the careful examination of research models, scientific methods, and research tools employed in conducted studies, enables researchers to establish a solid foundation for their future research. These reviews also aid in identifying gaps and new opportunities for investigation, thereby underlining the importance of using systematic reviews of published articles in terms of subject matter and methodology as a powerful method in the research process to create a unified and fundamental perspective in any scientific field (Hay & et al., 2017). However, it is observed that some areas, especially design, architecture, and art, have been less impacted by systematic reviews and meta-analyses of existing literature. The insufficient attention to these fields compared to other study areas highlights the absence of comprehensive and precise reviews. Stress, anxiety, worry, dread, negative emotions, and similar negative feelings, as psychological factors affecting creative and innovative design processes, can have varying effects on professional and specialized design activities across different branches and orientations. Based on this, the present research aims to systematically examine the literature in the field of design studies and related study areas on the topic of negative emotional experiences as perceived by designers and their impact on the design profession, design process, designers, and their performance. It strives to provide a comprehensive content and theoretical framework for the studies conducted. This allows researchers to not only compare and synthesize methodologies and existing results through a qualitative review of the research conducted but also to identify new opportunities to address this topic in

the field of design studies. Therefore, the present study endeavors to systematically review the research conducted in this area and subject it to examination and analysis. This review includes categorizing research based on content and different approaches, determining the thematic classification of studies, and evaluating the extent to which existing research focuses on each of the emotions, sentiments, and negative states. This study not only helps identify knowledge gaps but also introduces new areas for future research and provides guidelines for addressing these issues. This research attempts to answer questions such as: What is the thematic classification of most studies conducted? Which negative emotions have received more attention from researchers? What emotional experiences have been the focus of existing research in the field of design studies and related study areas?

2. METHODOLOGY

This research was conducted with the goal of achieving a broader understanding of the negative emotional experiences perceived in the field of design studies and related areas. This study is theoretical, employing a content analysis approach, utilizing descriptive and analytical methods to gather library and documentary information. It identifies articles that address this topic by referencing reputable international scientific sources. In this methodology, special emphasis is placed on precise and systematic searches in scientific databases to select articles directly related to the study topic. It then proceeds to examine and analyze the content of the collected data, attempting to classify the existing literature based on content and different approaches and to evaluate the extent of their focus on each of the emotions, sentiments, and negative states. This theoretical and analytical approach provides the possibility of meaningful interpretation and inference from a wide range of primary data, which in turn can offer new insights into the challenges and opportunities in the field of design. Therefore, this research provides

valuable information for professionals and enthusiasts in the field of design and helps fill knowledge gaps in this area.

3. DESIGN

Design is an activity aimed at generating innovative solutions and ideas in pursuit of transforming the world, rather than simply reproducing existing ideas and solutions. It strives to go beyond mere repetition of existing thoughts and approaches (Ashari & Shah Hosseini, 2023). The term "design" is derived from the Latin word "Designare," meaning to describe, define, and draw (Erlhoff, 2008: 195). A wide range of professional specialties and skills such as product design, service design, graphic design, architectural design, interactive design, and more fall within the professional fields of design, which are defined based on the results they deliver (Faragh & Ashari, 2023). There is no single definition of design that is accepted by all experts and researchers; its meaning varies across professions, disciplines, and design contexts (Abhigyan et al, 2021: 4). The traditional concept of design dates back to the 19th century, associated with the movement of applied arts and indus-

trial production of "Artifacts" (Niiniluoto, 2014: 12), transitioning from the modern era, which focused solely on the functional aspect of the product, to the post-modern era (Ghodusinejad, 2015: 74). However, the expansion of the concept of design across various scientific disciplines has led to new definitions of design that align with research in the field. Simon believed that the science of design comprises a set of analytical theories about the design process that possess intellectual robustness and are to some extent testable (Parsons, 2016: 55). Design can also be seen as the deliberate solution to a problem and the creation of designs for a new type of artifact, as well as a method for creating practical solutions to a problem, accepted as a research paradigm in various scientific disciplines (Ashari & Naeini, 2022).

In a comprehensive definition, design can be considered a type of exploratory process and a form of research (Lawson, 2005: 160). It is an activity that focuses on generating new ideas and solutions for changing the world, rather than simply repeating existing ideas and solutions (Chrysikou, 2020: 320). A clear idea that encompasses the elements of design, quality, shape, func-

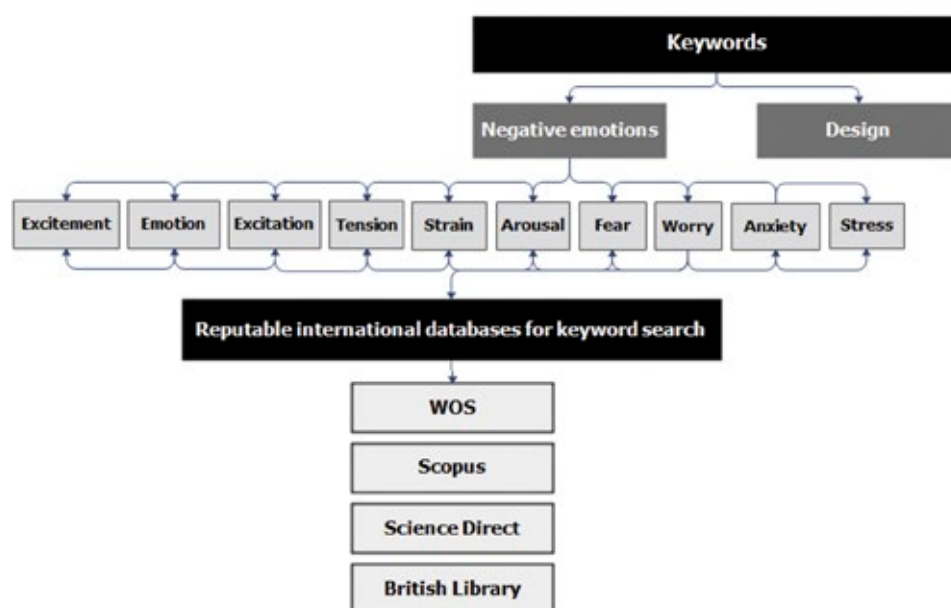


Figure 1. Initial Access to Conducted Studies: Selected Keywords in Two Areas: Design and Stress, and Reputable Scientific Websites for Keyword Search.
Source: Authors

tion, form, materials, and other characteristics should prevail over all other ideas and encapsulate the main narrative of a product (Ashari & Shah Hosseini, 2023). In essence, design is a creative discipline that utilizes imagination; its subject matter consists of things that can exist. The main task in design involves considering the relationships, alignments, and conflicts among a multitude of factors and immersing oneself in the process of presenting imaginative responses based on them. The vital characteristic of this integrated process is its thinking and action, which connects motivations and tangible actions, marking the distinct role of design. When design is conducted through a combination of logical reasoning and creative expression, it can be referred to as thoughtful design or the act of designing, which is neither thought alone nor action alone but both together, forming an interconnected unit (Walker, 2017: 19).

4. ARTICLE IDENTIFICATION PROCESS

In the initial phase of identifying relevant previous studies, a search was conducted in reputable databases. To primarily access articles in the field of design studies related to the experience of negative emotions, specific keywords relevant to the proposed topic were determined for use in the existing literature search. Given that the present research is interdisciplinary between the fields of design studies and psychology, the keywords were categorized into these two thematic classifications (Figure 1). Keywords selected for the search in reputable scientific sites within the design studies field include "Design". Keywords related to the field of psychology that connect to negative emotional experiences include ten keywords: "Stress", "Anxiety", "Worry", "Fear", "Arousal", "Excitation", "Excitement", "Tension", "Strain", "Emotion", chosen for their search in reputable scientific sites. The reason for choosing these keywords is their highest similarity in terms of content load and semantic meaning. The selection of keywords like "Excitation", "Emotion", and "Excitement" is because they encompass negative emo-

tions and sentiments, thus being utilized in this search. Following the selection of keywords, they were searched within the titles and keywords of articles, theses, and books on reputable international scientific websites without a time limit from the year 1975 to 2023. The top foreign article and book search websites were reviewed, and among them, the Web of Science (WOS), Science Direct, Scopus, and the British Library were selected for keyword searches (Figure 1). These sites were chosen due to their thematic categorization, allowing for the classification of articles across various fields. On the WOS and Scopus websites, searches were conducted in the titles and keywords of documents, whereas the British Library website only allowed searches in document titles, not keywords. Additionally, on the Science Direct website, searches could be conducted simultaneously in titles, keywords, and abstracts, and searches were performed in these sections. Table 1 displays the search of these keywords on reputable international sites. In this table, the number of articles obtained from searching the keywords in the title, keywords, and abstract is listed separately for each of the four scientific websites (WOS, Science Direct, Scopus, and British Library), with the search time noted. Keyword searches were conducted in all documents and all articles, and their results are stated separately.

5. DISCUSSION

After searching for keywords in international scientific databases (WOS, Science Direct, Scopus, and the British Library), a collection of related documents was gathered. In this study, we will focus solely on examining articles, setting aside other types of documents. These articles have been recorded in Table 1 and then categorized into specific thematic classifications, which are presented in Table 2. In this table, articles are categorized based on different study areas and their connections to the selected keywords. Essentially, this table shows the most studies conducted (over fifty percent of the articles)

Table 1. Search for Keywords Related to Negative Emotional Experiences in Design Studies on Reputable Foreign Sites

	Keywords		Articles search websites								Articles obtained	Search time
			British Library		Science Direct		Scopus		WOS			
			Articles	Doc	Articles	Doc	Articles	Doc	Articles	Doc		
1	Design + Stress	Title	3144	3336	54268	59091	2570	4001	1961	2230	144	2022/11/01 – 2022/12/01
		Keywords	–	–			19901	81616	2293	2395		
		Abstract	–	–			–	–	–	–		
2	Design + Anxiety	Title	166	172	8208	9236	160	221	150	235	62	2022/11/01 – 2022/12/01
		Keywords	–	–			4008	5288	155	168		
		Abstract	–	–			–	–	–	–		
3	Design + Worry	Title	16	16	821	926	6	7	8	11	6	2022/11/01 – 2022/12/01
		Keywords	–	–			82	86	6	6		
		Abstract	–	–			–	–	–	–		
4	Design + Fear	Title	90	104	3300	3697	51	79	45	58	18	2022/11/01 – 2022/12/01
		Keywords	–	–			725	904	48	52		
		Abstract	–	–			–	–	–	–		
5	Design + Emotion	Title	345	377	3584	3968	209	615	172	204	94	2022/11/01 – 2022/12/01
		Keywords	–	–			2444	4185	318	342		
		Abstract	–	–			–	–	–	–		
6	Design + Excitement	Title	16	16	217	257	4	7	2	3	2	2022/11/01 – 2022/12/01
		Keywords	–	–			18	24	–	–		
		Abstract	–	–			–	–	–	–		
7	Design + Excitation	Title	837	845	9591	10219	804	1349	593	633	–	2022/11/01 – 2022/12/01
		Keywords	–	–			5375	9361	285	300		
		Abstract	–	–			–	–	–	–		
8	Design + Strain	Title	1571	1632	29927	32547	1183	1872	1136	1279	6	2022/11/01 – 2022/12/01
		Keywords	–	–			20513	31188	778	807		
		Abstract	–	–			–	–	–	–		
9	Design + Tension	Title	682	706	9784	10531	520	860	439	492	34	2022/11/01 – 2022/12/01
		Keywords	–	–			4884	7680	322	326		
		Abstract	–	–			–	–	–	–		
10	Design + Arousal	Title	20	20	2057	2213	16	20	18	23	20	2022/11/01 – 2022/12/01
		Keywords	–	–			491	641	20	21		
		Abstract	–	–			–	–	–	–		
		Keywords	–	–			59	85	2	2		
		Abstract	–	–			–	–	–	–		

Source: Authors.

in various study areas from each of the keywords related to design and negative emotional experiences, according to the thematic classification of reputable scientific sites. This categorization allows us to gain new insights into the study areas that focus most on examining negative emotional experiences and to find new pathways for research and development of methods and strategies for improving design approaches (Table 2).

Table 3, continuing from the previous tables, provides a more general and conceptual classification of related studies, drawn based on the keywords used in various research efforts. This thematic categorization allows us to approach the studies on design and negative emotional experiences in different research areas from a broader perspective, showing which keywords and topics have attracted the most attention in the scientific community. Thus, these tables

Table 2. The Most Studies Conducted in Various Study Areas from Each of the Keywords According to the Thematic Classification of Reputable Scientific Sites

	Keywords	WOS	Scopus	British Library	Science Direct
1	Design + Stress	Materials Science Multidisciplinary - Mechanics - Engineering Mechanical - Engineering Civil - Engineering Electrical Electronic	Engineering	Mechanical engineering - Civil engineering - Electrical and Electronic Engineering	Engineering - Materials Science
2	Design + Anxiety	Psychiatry - Psychology Clinical - Psychology Multidisciplinary - Public Environmental Occupational Health	Medicine	Medicine - Pharmaceutical chemistry - Biotechnology	Medicine and Dentistry
3	Design + Worry	Psychiatry - Health Care Sciences Services	Medicine - Engineering - Psychology	Mechanical engineering - Civil engineering - Electrical and Electronic Engineering	Medicine and Dentistry
4	Design + Fear	Neuroscience - Psychiatry - Psychology - Art - Pharmacology - Environmental Studies - Psychology Multidisciplinary - Criminology Penology	Engineering - Social Sciences - Medicine	Engineering - Architecture and Planning	Medicine and Dentistry
5	Design + Emotion	Psychology Multidisciplinary - Education Educational Research - Art - Computer Science Information Systems - Social Science Interdisciplinary - Engineering Multidisciplinary - Management	Computer Science - Medicine	Engineering - Artificial intelligence - Design - Computers - Computer science	Medicine and Dentistry - Psychology
6	Design + Excitement	-	Medicine - Computer Science	Mechanical engineering	Medicine and Dentistry - Social Sciences - Psychology
7	Design + Excitation	Engineering Electrical Electronic - Radiology Nuclear Medicine Medical Imaging - Engineering Mechanical - Engineering Civil - Instruments Instrumentation	Engineering	Mechanical engineering - Civil engineering	Engineering
8	Design + Strain	Engineering Civil - Construction Building Technology - Materials Science Multidisciplinary - Engineering Mechanical - Physics Applied - Engineering Electrical Electronic - Biotechnology Applied Microbiology	Engineering	Mechanical engineering - Civil engineering - Electrical and Electronic Engineering	Engineering - Materials Science
9	Design + Tension	Engineering Civil - Construction Building Technology - Materials Science Multidisciplinary	Engineering	Engineering	Engineering
10	Design + Arousal	Ergonomics - Neuroscience - Business - psychiatry -Communication - Family Studies	Engineering - Psychology	Psychology - Social Sciences or Social Services - engineering	Medicine and Dentistry - Neuroscience

Source: Authors.

offer valuable information for researchers seeking a deeper understanding of negative emotional experiences in various study fields, enabling them to discover connections between different segments of this area and advance towards future research (Table 3).

The thematic categorization of the articles obtained in the previous table demonstrates the subject distribution of studies related to the keywords. This analysis also indicates the level of focus various scientific fields have on these topics. In Table 4,

our analysis is centered on articles from the fields of design, art, architecture, and ergonomics, gathered from four prominent scientific references including the Web of Science (WOS), Science Direct, Scopus, and the British Library. This table highlights the diversity and breadth of studies in these areas, enabling us to identify the extent of research focus each of these study fields has on keywords related to negative emotional experiences. A detailed examination of these articles leads us to a better understanding of the psychological impacts on these fields of study (Table 4).

Table 3. General Thematic Categorization of Each Keyword

	Keywords	Engineering	Materials Science	Medicine	Dentistry	Psychology	Psychiatry	Education	Chemistry	Biotechnology	Art	Architecture and Planning	Neuroscience	Pharmacology	Environmental Studies	Criminology	Penology	Management	Social Sciences	Artificial intelligence	Design	Computers	Construction	Building Technology	Health Care	Sciences Services	Physics Applied	Business	Communication	Ergonomics
1	Design + Stress	•	•																											
2	Design + Anxiety			•	•	•	•		•	•					•															
3	Design + Worry	•		•	•	•	•																		•					
4	Design + Fear	•		•	•	•	•				•	•	•	•	•	•			•	•										
5	Design + Emotion	•		•	•	•	•	•			•							•	•	•	•	•								
6	Design + Excitement	•		•	•		•												•			•								
7	Design + Excitation	•		•																				•						
8	Design + Strain	•	•							•														•		•				
9	Design + Tension	•	•																					•						
10	Design + Arousal	•		•	•	•	•						•						•								•	•	•	

Source: Authors.

Table 4. Number of Articles Obtained from Searching Keywords in Reputable Scientific Sites with Subject Categorization in Design, Art, Architecture, and Ergonomics

	Keywords	Related field		WOS	Scopus	Science Direct	British Library
1	Design + Stress	Architecture (WOS)	Title	–	–	–	–
		Architecture and Planning (British Library)	Keywords	1	–		–
		Art (WOS) (British Library)	Title	–	37	–	–
		Arts and Humanities (Scopus) (Science Direct)	Keywords	–	595		–
		Ergonomics (WOS)	Title	18	–	–	–
			Keywords	18	–		–
		Product Design (British Library)	Title	–	–	–	–
2	Design + Anxiety	Architecture (WOS)	Title	–	–	–	–
		Architecture and Planning (British Library)	Keywords	–	–		–
		Art (WOS) (British Library)	Title	–	18	100	–
		Arts and Humanities (Scopus) (Science Direct)	Keywords	–	116		–
		Ergonomics (WOS)	Title	–	–	–	–
			Keywords	2	–		–
		Product Design (British Library)	Title	–	–	–	–
3	Design + Worry	Architecture (WOS)	Title	–	–	–	1
		Architecture and Planning (British Library)	Keywords	–	–		–
		Art (WOS) (British Library)	Title	–	–	–	1
		Arts and Humanities (Scopus) (Science Direct)	Keywords	–	4		–
		Ergonomics (WOS)	Title	–	–	–	–
			Keywords	1	–		–
		Product Design (British Library)	Title	–	–	–	–
4	Design + Fear	Architecture (WOS)	Title	–	–	–	8
		Architecture and Planning (British Library)	Keywords	–	–		–
		Art (WOS) (British Library)	Title	1	10	–	5
		Arts and Humanities (Scopus) (Science Direct)	Keywords	–	48		–
		Ergonomics (WOS)	Title	–	–	–	–
			Keywords	1	–		–
		Product Design (British Library)	Title	–	–	–	–
5	Design + Emotion	Architecture (WOS)	Title	–	–	–	–
		Architecture and Planning (British Library)	Keywords	9	–		–
		Art (WOS) (British Library)	Title	6	48	103	12
		Arts and Humanities (Scopus) (Science Direct)	Keywords	28	261		–
		Ergonomics (WOS)	Title	17	–	–	–
			Keywords	21	–		–
		Product Design (British Library)	Title	–	–	–	32
6	Design + Excitement	Architecture (WOS)	Title	–	–	–	2
		Architecture and Planning (British Library)	Keywords	–	–		–
		Art (WOS) (British Library)	Title	–	–	–	2
		Arts and Humanities (Scopus) (Science Direct)	Keywords	–	–		–
		Ergonomics (WOS)	Title	–	–	–	–
			Keywords	–	–		–
		Product Design (British Library)	Title	–	–	–	–

7	Design + Excitation	Architecture (WOS) Architecture and Planning (British Library)	Title	–	–	–	–
			Keywords	–	–		–
		Art (WOS) (British Library) Arts and Humanities (Scopus) (Science Direct)	Title	–	2	–	–
			Keywords	–	76		–
		Ergonomics (WOS)	Title	–	–	–	–
			Keywords	–	–		–
8	Design + Strain	Architecture (WOS) Architecture and Planning (British Library)	Title	–	–	–	–
			Keywords	–	–		–
		Art (WOS) (British Library) Arts and Humanities (Scopus) (Science Direct)	Title	–	3	–	–
			Keywords	–	125		–
		Ergonomics (WOS)	Title	8	–	–	–
			Keywords	5	–		–
9	Design + Tension	Architecture (WOS) Architecture and Planning (British Library)	Title	1	–	–	–
			Keywords	2	–		–
		Art (WOS) (British Library) Arts and Humanities (Scopus) (Science Direct)	Title	4	24	–	–
			Keywords	2	84		–
		Ergonomics (WOS)	Title	4	–	–	–
			Keywords	2	–		–
10	Design + Arousal	Architecture (WOS) Architecture and Planning (British Library)	Title	–	–	–	–
			Keywords	–	–		–
		Art (WOS) (British Library) Arts and Humanities (Scopus) (Science Direct)	Title	–	1	–	–
			Keywords	–	35		–
		Ergonomics (WOS)	Title	–	–	–	–
			Keywords	4	–		–
10	Design + Arousal	Product Design (British Library)	Title	–	–	–	2
			Keywords	–	–		–

Source: Authors.

Creating a frequency distribution chart based on the information gathered from the tables and the content mentioned provides a valuable tool for a more accurate and detailed analysis of the data derived from the most studies conducted in the thematic categories of each searched keyword (in the titles and keywords of previous articles) within the field of design studies and related study areas focusing on negative emotional experiences. This would be applicable across all four scientific web-

sites (WOS, Science Direct, Scopus, and the British Library). The design of this chart aims to facilitate researchers' access to the focal points of study areas and topics. It offers a general analysis of the obtained data, displaying at a glance the topics with the highest number of articles on the discussed subject (Chart 1).

Based on this chart, the keyword "Design + Stress" has the highest frequency of research in the field of Art and Humanities,

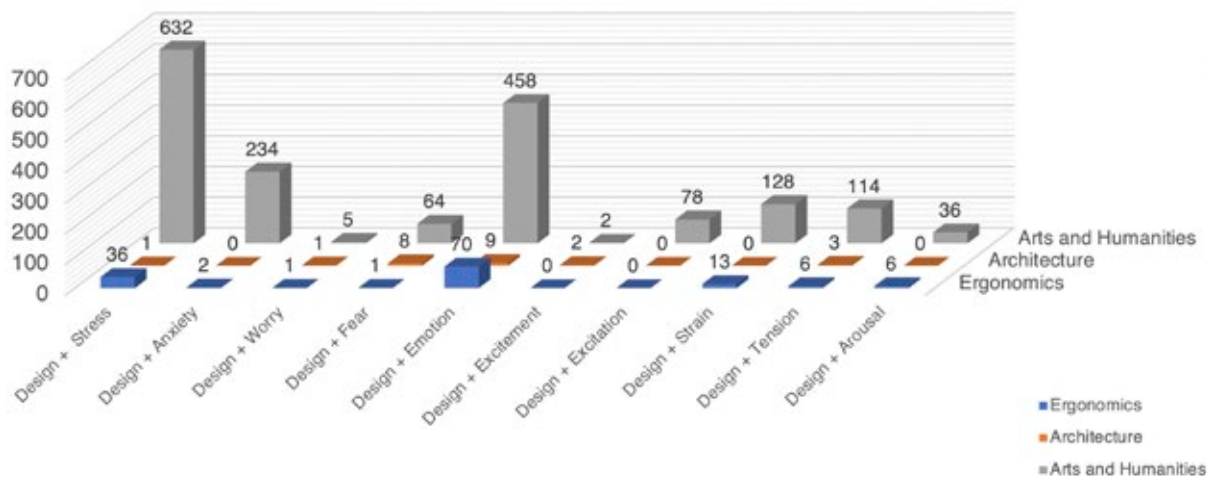


Chart 1. General analysis of the data obtained from the most studies conducted on each of the searched keywords in the fields of Art and Humanities, Architecture, and Ergonomics
Source: Authors

indicating a significant focus of researchers in this area on the topic of stress. The number of studies using this keyword in the fields of Art and Ergonomics is much lower. Following this keyword, a considerable amount of studies in the fields of Art and Humanities relate to the keywords "Design + Emotion," likely examining both the positive and negative impacts of this emotional experience. The number of studies for this keyword in the field of Ergonomics is very low. Subsequently, keywords such as "Design + Anxiety," "Design + Strain," and "Design + Tension" have significantly fewer studies, which may indicate a new research opportunity in these areas. This chart represents the total number of published studies for each keyword in each field (Chart 1).

Table 5. The Majority of Articles Conducted in Design-Related Study Fields on the Topic of Negative Emotional Experiences

	Keywords	Related field
1	Design + Anxiety	Arts
2	Design + Fear	Architecture and Planning
3	Design + Emotion	Design
4	Design + Strain	Arts
5	Design + Arousal	Arts

Source: Authors

Considering the content, tables, and a thorough analysis of the data obtained from the frequency distribution table of articles, the five keywords that have yielded the most research are as follows: The majority of articles with the keywords Anxiety, Strain, Arousal are found in the field of Art; with the keyword Fear in the field of Architecture and Urban Planning; and with the keyword Emotion in the field of Design (Table 5). The keyword "Emotion" indicates that articles related to emotions have been primarily focused on in the field of design. This may be due to emotions being a crucial component in user experience and users' interactions with designed products. Research in these areas can improve how products are designed and enhance user experience. The keyword "Anxiety" has the highest frequency in studies related to the field of art. This might be because art is considered a space for exploration and expression of emotions, and studying Anxiety can lead to a better understanding of how these psychological states impact creative processes. The keywords "Strain" and "Arousal" have also been highlighted in the field of art, indicating an interest in examining the effects of psychological and physical pressures on artists. Research in these areas could help identify stress management strategies and promote well-being and mental health among artists. Finally, the keyword "Fear" has been particu-

larly focused on in the field of architecture and urban planning. This could mean that researchers in this field aim to understand how fear affects designers and users and how architecture can help reduce or manage these fears.

6. CONCLUSION

The research conducted in the field of design studies and related study areas concerning negative emotional experiences clearly demonstrates that these two subjects intersect in various ways and across different contexts. Reviews suggest that negative emotional experiences in the field of architectural and urban design studies are primarily focused under the theme of Fear, possibly due to safety challenges and environmental impacts on individuals. In the field of art studies, experiences associated with Anxiety, Strain, and Arousal have been more extensively examined, indicating the influence of these states on creativity processes and art production. Moreover, articles related to both positive and negative emotional experiences, Emotion, are generally concentrated in the field of design studies, highlighting the significance of user experience and users' emotional connection with products. A broader analysis of the data and charts shows that the fields of design, architectural design, and art each explore negative emotional experiences in their unique ways. Researchers in architecture tend to consider fear as a fundamental element in designing physical environments and emphasize it, while art researchers examine deep emotional and psychological impacts. Design researchers conduct studies focused on reducing stress, enhancing human efficiency, and comfort. These investigations underline the need for interdisciplinary approaches in examining negative emotional experiences, which could ultimately lead to the development of more comprehensive strategies for managing these experiences across various fields. Given the presented content, the limitations, challenges, and recommendations of this research are as follows:

Limited access to certain international databases and the high variability in study fields and related keywords pose challenges to the comprehensiveness and accuracy of research. The use of the keyword "design" in broad and general terms, especially in unrelated articles, can lead to the collection of incorrect data and increase complexity in data analysis. To counter these challenges, it is recommended to strengthen interdisciplinary collaborations to establish common definitions and models, laying the groundwork for integration and comprehensive outlooks in research endeavors. Furthermore, emphasizing the study of anthropological and psychological aspects, including negative and positive emotional experiences in design and its process, and their impacts on creativity, productivity, and the mental well-being of designers, can provide valuable insights. This research offers a foundation for future studies to specifically focus on addressing existing issues and leveraging the provided recommendations to enhance future research in areas related to negative emotional experiences such as stress and anxiety in design.

7. REFERENCES

- Abhigyan, S., et al. (2021). Envisioning 'anthropology through design': A design interventionist approach to generate anthropological knowledge. *Design Studies* 76 (C). 1-38.
- Ashari, S., & Shahhoseini, A. (2023). Culture-Based Design with Stuart Hall Representation Theory: A Case Study of Craft Packaging Identification. *Rahpoo-ye Journal of Visual Arts*, 6(3), 81-89. <https://doi.org/10.22034/ra.2023.562984.1257>. (In Persian).
- Ashari, S., & Sadeghi Naeini, H. (2022). Investigating the Intrinsic Aspects of Design from the Perspective of Researchers in the Field of Design Thinking. *Journal of Fine Arts: Visual Arts*, 27(2), 93-101.

Barroso M, Laborda J. (2022). Digital transformation, and the emergence of the Fintech sector: Systematic literature review. *Digital Business*. (Vol. 2) Issue 100028, 2 ISSN, 2666-9544. <https://doi.org/10.1016/j.digbus.2022.100028>.

Chrysikou, E. G. (2020), *Using neuroscience techniques to understand and improve design*, *AIMS Neuroscience*, 7 (3): 319–326.

Dayan, M., & Di Benedetto, C. A. (2011). Team intuition as a continuum construct, and new product creativity: The role of environmental turbulence, team experience, and stress. *Research Policy*, 40(2), 276–286. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.10.002>.

Duan, H., Wang, X., Hu, W., & Kounios, J. (2019). Effects of acute stress on divergent, and convergent problem-solving. *Thinking & Reasoning*, 26(1), 68–86. <https://doi.org/10.1080/13546783.2019.1572539>

Erllhoff, et al. (2008). *Design Dictionary: Perspectives on Design Terminology*. Birkhäuser Verlag AG Basel, Boston, Berlin.

Faregh, A. S., & Ashari, S. (2022). Extraction of the scientific indicators of design; A theoretical approach on the relation of design, and knowledge. *Journal of Fine Arts: Visual Arts*, 28(1), 5-15. <https://doi.org/10.22059/jfava.2022.347523.666963>. (In Persian).

Gümüşburun Ayalp, G., & Çivici, T. (2021). Critical stress factors influencing architecture students in Turkey: a structural equation modelling approach. *Open House International*, 46(2), 281–303. <https://doi.org/10.1108/ohi-10-2020-0150>.

Kirkpatrick, M. (2018). *Ments integrnal well-being and the architecture students*.

Available at: <https://absnet.org.uk/system/files/Dissertation%20-%20Melissa%20Kirkpatrick.pdf>

Niiniluoto, I. (2014). Values in design sciences. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 46, 11-15.

Parsonz, G. (2016). *The Philosophy of Design*. Polity press.

Petkar, H., Dande, S., Yadav, R., Zeng, Y., & Nguyen, T. A. (2009). A Pilot Study to Assess Designer's Mental Stress Using Eye Gaze System, and Electroencephalogram. *29th Computers, and Information in Engineering Conference, Parts a, and B*. (Vol. 2). <https://doi.org/10.1115/detc2009-86542>

Smith, D., & Lilly, L. (2016). Understanding Student Perceptions of Stress in Creativity-Based Higher Education Programs: A Case Study in Interior Architecture. *Journal of Interior Design*, 41(2), 39–56. <https://doi.org/10.1111/joid.12072>

Walker, S. (2017). *Design for Life: Creating Meaning in a Distracted World*. Routledge, Taylor & Francis Group, London & New York.

Wang, X., Nguyen, T. A., & Zeng, Y. (2015). *Influence of information collection strategy in problem formulation on design creativity through mental stress: A theoretical analysis*. In *Proceedings of the 20th International Conference on Engineering Design (ICED15)*, Milan, Italy, 27-30 July 2015.

Zhao, M., & Zeng, Y. (2019). Influence of Information Collection Strategy on Designer's Mental Stress. *Proceedings of the Design Society. International Conference on Engineering Design*, 1(1), 1783–1792. <https://doi.org/10.1017/dsi.2019.184>

CALL FOR PAPERS

EÍDOS 25

**CIUDADES FRONTERIZAS:
EXPLORANDO IDENTIDADES
Y DINÁMICAS URBANAS**

Recepción de propuestas / Deadline: 2024-09-15

Publicación / Publication: 2025-01

*BORDER CITIES: EXPLORING URBAN
IDENTITIES AND DYNAMICS*

**Convocatoria para Publicación de Artículos Científicos -
Revista Científica EÍDOS, Edición Número 25**

La revista Eídos invita a investigadores, académicos y profesionales a enviar sus artículos para su próxima edición especial sobre:

Tema Principal: “CIUDADES FRONTERIZAS: Explorando Identidades y Dinámicas Urbanas”

Descripción

Las ciudades fronterizas son espacios donde convergen diversas culturas, economías y dinámicas sociales, lo que las convierte en entornos urbanos únicos y fascinantes. Esta temática busca explorar el desarrollo urbano en zonas limítrofes y su impacto en la identidad local, así como las complejidades que surgen en la planificación y gestión de estas ciudades.

Se alienta a los autores a presentar artículos originales que aborden, entre otros, los siguientes temas:

- Desarrollo urbano en zonas limítrofes y su influencia en la identidad local.
- Migración y diversidad cultural en ciudades fronterizas.
- Infraestructuras transfronterizas y su impacto en la conectividad urbana.
- Conflictos y colaboraciones en la planificación urbana transfronteriza.
- Seguridad urbana y gestión de fronteras en entornos urbanos limítrofes.
- Economía urbana y comercio transfronterizo en ciudades fronterizas.
- Desafíos medioambientales y resiliencia en áreas urbanas fronterizas.

Los artículos serán evaluados por pares, siguiendo un proceso de revisión anónima, y se seleccionarán para su publicación aquellos que cumplan con los estándares de calidad y relevancia académica.

Instrucciones para los autores: Los autores interesados deben enviar sus artículos originales a través del sistema de presentación en línea de la revista. Los artículos deben seguir las pautas de estilo y formato proporcionadas en el sitio web de la revista. Se aceptarán artículos científicos con una extensión máxima de 7,000 palabras.

Para más información y detalles sobre la presentación de artículos, por favor visite el sitio web de la Revista Eídos en <https://revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos/index>.



Universidad UTE

Redes sociales:



@eidosrevista



@eidosrevista



@eidosrevista

***Call for Submission of Scientific Articles - EIDOS Scientific Journal,
Edition Number 25***

Eídos journal invites researchers, academics, and professionals to submit their articles for its upcoming special edition on:

Main Theme: "BORDER CITIES: Exploring Urban Identities and Dynamics"

Description

Border cities are spaces where diverse cultures, economies, and social dynamics converge, making them unique and fascinating urban environments. This theme seeks to explore urban development in border areas and its impact on local identity, as well as the complexities that arise in the planning and management of these cities.

Authors are encouraged to submit original articles addressing, among others, the following topics:

- Urban development in border areas and its influence on local identity.
- Migration and cultural diversity in border cities.
- Cross-border infrastructures and their impact on urban connectivity.
- Conflicts and collaborations in cross-border urban planning.
- Urban security and border management in border urban areas.
- Urban economy and cross-border trade in border cities.
- Environmental challenges and resilience in border urban areas.

Articles will be peer-reviewed following an anonymous review process, and those meeting the standards of quality and academic relevance will be selected for publication.

Instructions for Authors: Interested authors should submit their original articles through the journal's online submission system. Articles should follow the style and formatting guidelines provided on the journal's website. Scientific articles with a maximum length of 7,000 words will be accepted.

For more information and details regarding article submission, please visit the Eídos Magazine website at <https://revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos/index>.