

- ❑ Sistema electrónico alternativo a la polisomnografía para diagnosticar la apnea obstructiva del sueño.
- ❑ La pulvimetalurgia: estrategia clave para el refuerzo de los aceros inoxidables austeníticos.
- ❑ Análisis del nivel de desarrollo de soluciones que forman en habilidades blandas mediante la taxonomía de Bloom.
- ❑ Modelación numérica de la capacidad portante de cimentaciones superficiales en suelos fisurados. Comparación con resultados experimentales.
- ❑ Machine learning para el análisis de arquitecturas implícitas en definiciones de infraestructura como código en repositorios de software.
- ❑ El hombre que amaba los perros: entre la historia y la literatura.



CONSEJO DIRECTIVO DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

PRESIDENTE RICARDO RINCÓN HERNÁNDEZ

VOCALES GERMÁN EDUARDO ACERO RIVEROS
SANDRA XIMENA CAMPAGNOLI MARTÍNEZ
GONZALO JIMÉNEZ ESCOBAR
MARÍA DEL ROSARIO MONTEJO PERRY
ARMANDO PALOMINO INFANTE
JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS
GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS
MARIANA SANDINO ULLOA
JOSÉ CAMILO VÁSQUEZ CARO
(representante de los profesores)
JAVIER STEVEN AROCA TOVAR
(representante de los estudiantes)

RECTOR HÉCTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ

SECRETARIA GENERAL CLAUDIA JEANNETH RÍOS REYES

REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

DIRECTOR JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS

COMITÉ EDITORIAL GERMÁN ACERO RIVEROS
CLAUDIA JEANNETH RÍOS REYES
PAULA XIMENA RÍOS REYES
GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS
EDUARDO SARMIENTO PALACIO

DIRECCIÓN EDITORIAL CRISTINA SALAZAR PERDOMO

EDICIÓN **DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN**
JORGE CAÑAS SEPÚLVEDA
CORRECCIÓN DE ESTILO
ELKIN RIVERA GÓMEZ
TRADUCCIÓN Y CORRECCIÓN DE ESTILO EN INGLÉS
DAVID PEÑA CITA

DIRECCIÓN COMERCIAL EDITORIAL ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

Versión digital disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

AUTOPISTA NORTE AK 45 # 205-59
TEL.: (60-1) 668 3600, EXT. 533
revista@escuelaing.edu.co
BOGOTÁ, D.C., COLOMBIA

LA ESCUELA Y LA REVISTA NO SON RESPONSABLES DE LAS IDEAS Y CONCEPTOS EMITIDOS POR LOS AUTORES DE LOS TRABAJOS PUBLICADOS. SE AUTORIZA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE LOS ARTÍCULOS DE LA REVISTA SI SE CITAN LA FUENTE Y EL AUTOR.

5 / EDITORIAL

Desarrollo urbano

Jairo Alberto Romero Rojas

7-15

Sistema electrónico alternativo a la polisomnografía para diagnosticar la apnea obstructiva del sueño

Hernán Paz Penagos - Juan Camilo Ospina Sánchez - Diego Arturo Coy Sarmiento

Este artículo se enfoca en la revisión del estado del arte en el diseño de instrumentos de cribado para el diagnóstico de la apnea obstructiva del sueño, así como en la selección del mejor de ellos, para usarlo en esta investigación.

17-23

La pulvimetalurgia: estrategia clave para el refuerzo de los aceros inoxidables austeníticos

Aída Milena Echavarría García - David Leonardo Blanco-Estupiñán - Ángela Lorena Cárdenas - Paula Alejandra Contreras González

En esta revisión del estado del arte, se incluyen conceptos relacionados con la fabricación de piezas en materiales compuestos de matriz metálica (MMC), especialmente el refuerzo de aceros inoxidables austeníticos con materiales cerámicos, mediante la ruta sólida conocida como pulvimetalurgia. La definición misma del proceso, características y propiedades de los materiales utilizados, así como sus aplicaciones, se abordan en este artículo.

25-32

Análisis del nivel de desarrollo de soluciones que forman en habilidades blandas mediante la taxonomía de Bloom

Diego Andrés Rizo Sánchez - Adriana Marcela Zambrano Sánchez

Existen diversos productos y servicios en el mercado que buscan mejorar las habilidades blandas, por lo que esta investigación tiene como objetivo analizar una muestra de soluciones que desarrollan las habilidades blandas más demandadas por las empresas de base tecnológica, a partir de una metodología de carácter descriptivo y documental que permitió analizar las metodologías, los objetivos y los resultados de aprendizaje de cada solución para determinar su nivel de desarrollo, de acuerdo con la taxonomía de Bloom.

33-44

Modelación numérica de la capacidad portante de cimentaciones superficiales en suelos fisurados. Comparación con resultados experimentales

Catalina Lozada López - Andrés Camilo Torres Mabecha

En este artículo se analiza la capacidad portante de un suelo en condición saturada y parcialmente saturada en presencia de fisuras generadas por el fenómeno de desecación, por medio de modelos numéricos, empleando el programa de elementos finitos Plaxis 2D. Se implementan el modelo constitutivo Cam Clay modificado y el modelo constitutivo Mohr-Coulomb, utilizando el modelo Van Genuchten para el comportamiento del agua en el suelo.

45-58

Machine learning para el análisis de arquitecturas implícitas en definiciones de infraestructura como código en repositorios de software

Luis Felipe Díaz Chica - Daniel Benavides Navarro - Wilmer Garzón Alfonso

En este artículo se investigan técnicas de inteligencia artificial que permitan construir herramientas para explorar de manera sistemática grandes cantidades de repositorios de software, identificando qué archivos de código fuente tienen especificaciones de IaC y qué tipo de arquitectura definen estas especificaciones.

Contenido

59-61

El hombre que amaba los perros: entre la historia y la literatura

José Camilo Vásquez Caro

El límite entre la literatura y la historia es poroso. Ambas disciplinas narran, relatan e interpretan sucesos, momentos y experiencias, sean estos ficticios o no. Las dos comparten el tema de los puntos de enunciación —precisos y propios—, del narrar que construyen y de los contextos en los que surgen.

63 / ALCANCE Y POLÍTICAS

Editorial

Desarrollo urbano

JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS

Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería

jairo.romero@escuelaing.edu.co

De acuerdo con el Documento Conpes 3819 de 2014, en el que se sientan las bases de la política nacional para consolidar el sistema de ciudades en el país, en el año 2035 Colombia tendrá 64 ciudades con más de 100.000 habitantes, en las que residirá el 83 % de la población.

En esas 64 ciudades, será indispensable que el gobierno asegure la prestación de servicios de acueducto, alcantarillado, residuos sólidos, sanidad, educación, comercio y movilidad, con una calidad y un servicio que garanticen un óptimo saneamiento público.

Una condición esencial para un desarrollo plenamente sostenible es que haya un manejo empresarial responsable de los servicios públicos de acueducto, agua potable, alcantarillado, tratamiento de aguas residuales, recolección y disposición de residuos sólidos, sanidad, educación, comercio y movilidad, que respalde la cobertura plena de dichas necesidades.

Así mismo, para enfrentar con éxito el reto de una satisfacción sostenible, establecida por una demanda de servicios como la requerida por esas 64 ciudades, se precisa el aporte de la ingeniería para construir una nueva infraestructura que permita resolver plenamente la demanda de dichos beneficios.

Es importante tener en cuenta que hay que asegurar la prestación de tales servicios por medio de una planeación previa, que garantice la existencia de ciudades plenamente sostenibles. No obstante, estamos en mora de que dicha planeación se inicie, para poder garantizar así una financiación adecuada, unos diseños y construcción óptimos, al igual que la operación y el mantenimiento de las obras requeridas.

No hay que olvidar que las necesidades de infraestructura en la mayoría de las ciudades del país son evidentes y demuestran que la planeación no ha existido o, por lo menos, que no ha sido suficiente.

Vale la pena repetirlo: los ingenieros civiles y ambientales del país tendrán que seguir diseñando y construyendo en el futuro la infraestructura requerida para satisfacer las necesidades de transporte de bienes, servicios y personas, así como de abastecimiento de agua potable, recolección, tratamiento y disposición de residuos sólidos; sin embargo, para esto resulta indispensable tener un poder financiero y político que, lamentablemente, ha sido insuficiente.

Sistema electrónico alternativo a la polisomnografía para diagnosticar la apnea obstructiva del sueño

Electronic system as an alternative to polysomnography for diagnosing obstructive sleep apnoea

HERNÁN PAZ PENAGOS¹ - JUAN CAMILO OSPINA SÁNCHEZ² -
DIEGO ARTURO COY SARMIENTO³

1. Profesor del programa de Electrónica de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Grupo de Investigación Ectrónica. ORCID: 0000-0002-2692-1989

2. Estudiante del Programa de Ingeniería Electrónica.

3. Estudiante del Programa de Ingeniería Mecánica.

hernan.paz@escuelaing.edu.co - juan.ospina-s@mail.escuelaing.edu.co - diego.coy@mail.escuelaing.edu.co

Recibido: 14/02/2023 Aceptado: 22/03/2023

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

Un estudio completo para el diagnóstico de la apnea obstructiva del sueño requiere tanto el monitoreo, toma y análisis de datos de predictores clínicos (similar al examen de la polisomnografía), como la utilización de un cuestionario para obtener la máxima información posible del paciente. Sin embargo, el uso único del cuestionario brinda una gran herramienta para una detección o diagnóstico rápido de pacientes, que ayude a ahorrar en costos y recursos. Debido a esto, la estandarización de los cuestionarios ha servido para fortalecer esta herramienta e identificar las mejores preguntas que hay que formular para obtener el mejor resultado posible.

Este artículo se enfoca en la revisión del estado del arte en el diseño de instrumentos de cribado para el diagnóstico de la apnea obstructiva del sueño, y en la selección del mejor de ellos, para usarlo en esta investigación.

Palabras claves: apnea obstructiva del sueño, sistema electrónico, instrumento de cribado, predictores clínicos, diagnóstico.

Abstract

A complete study for the diagnosis of obstructive sleep apnea requires both monitoring, data collection, and analysis of clinical predictors (similar to the polysomnography examination), as well as the use of a questionnaire to obtain the maximum possible information from the patient. However, the unique use of the questionnaire provides a great tool for rapid detection or diagnosis of patients for cost and resource savings. Therefore, the standardization of the questionnaires has helped to strengthen this tool and identify the best questions to ask to obtain the best possible result.

This article focuses on the review of the state of the art in the design of screening instruments for the diagnosis of obstructive sleep apnea, and on the selection of the best one for use in this research.

Keywords: obstructive sleep apnea, electronic system, screening instrument, clinical predictors, diagnosis.

INTRODUCCIÓN

La apnea obstructiva del sueño (en adelante, AOS) es el desorden respiratorio del sueño más común; la prevalencia estimada es del 22 % en la población en general, distribuida así: del 9 % al 37 % en hombres y del 4 % al 50 % en mujeres [1]. Otros estudios estiman que cerca del 20 % de la población adulta de edad media padece de algún tipo de apnea del sueño, y de este, casi el 80 % de los casos no se han diagnosticado, lo que evidencia la necesidad de estudios y métodos de diagnóstico [2]. La presencia de la AOS también varía de acuerdo con la raza y la etnia. Es más frecuente en afroamericanos menores de 35 años comparados con caucásicos de la misma edad, independientemente del peso de estos. La prevalencia de apnea en Asia y Estados Unidos es parecida, a pesar de las bajas tasas de obesidad en Asia [3]. En Colombia no se conocen los datos específicos de la epidemiología; sin embargo, se estima que el comportamiento es muy similar a los datos globales.

En el año 2016, se contaba con un aproximado de 118 camas a lo largo y ancho del país, con la posibilidad de desarrollar la polisomnografía [4]. Los precios oscilaban entre los 400.000 y un millón de pesos. También se identificaron algunos exámenes a domicilio, los cuales no tenían gran diferencia en el precio. El problema de ese entonces radicaba en la disponibilidad de las camas, que no era suficiente para atender a la población que se suponía estaba afectada y sin diagnosticar. Adicionalmente, el costo no era asequible para la mayoría de la población colombiana, y los dispositivos de diagnóstico, de centros médicos o clínicas, se encontraban en la capital del país y ciudades intermedias: Bogotá, Medellín, Cali, etc., limitando el acceso de un diagnóstico de la AOS.

La AOS consiste en un incremento de la resistencia de la vía aérea superior, asociado a colapso recurrente de esta vía durante el sueño, lo que resulta en una reducción importante o completa del flujo aéreo, a pesar de los esfuerzos respiratorios; esa reducción es de más del 90 % del flujo del aire con respecto a la línea base por más de diez segundos de duración, asociado a desaturación.

La polisomnografía (PSG) es el examen médico que permite el monitoreo y el análisis de los predictores clínicos de la AOS. Los componentes de la PSG trabajan juntos, con el fin de crear una imagen detallada de los patrones de sueño y los procesos fisiológicos del paciente. Los datos recopilados se analizan para iden-

tificar trastornos del sueño, como la AOS, el insomnio y el síndrome de piernas inquietas. El examen actual es costoso y de difícil acceso, aparte de que se somete al paciente a un alto grado de incomodidad, conectando sensores y equipos a partes de su cuerpo mediante cables para la toma de datos de respiración, frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno, ronquidos, actividad muscular, entre otros.

Los cuestionarios son otra herramienta útil para detectar la AOS en forma rápida y económica, ya que permiten determinar la presencia y gravedad del trastorno en pocos minutos, sin necesidad de someter al paciente a estudios de polisomnografía. Consisten en un instrumento de cribado que responden los pacientes para determinar la presencia o no de este síndrome, así como su gravedad en caso de que se presente. Los cuestionarios favorecen el proceso de diagnóstico de la AOS en costos, tiempo, facilidad técnica y comodidad para el paciente.

El objetivo de la investigación es diseñar y construir un sistema para el diagnóstico de la AOS; está conformado por un dispositivo electrónico que detecta, mediante sensores, predictores clínicos de la AOS (figura 1), y se complementa con el apoyo de encuestas por cuestionario que responde el mismo paciente. Este artículo se enfoca en la revisión del estado del arte sobre instrumentos de cribado y la selección de la mejor herramienta.

REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA

En [5] se realiza un estudio para determinar un cuestionario conciso y fácil de utilizar para la detección de la AOS en pacientes que se van a someter a un proceso quirúrgico, debido a que los cuestionarios existentes hasta ese momento eran extensos y con puntuación confusa. Se determinó un cuestionario de cuatro preguntas enfocadas en cuatro aspectos principales: los ronquidos, el cansancio durante el día, la apnea observada y la hipertensión arterial. El cuestionario recibe el nombre STOP, por las siglas en inglés de cada categoría.

Como población de muestra se aplicó el cuestionario a 2467 de las clínicas preoperatorias de Toronto (Canadá), de las cuales se obtuvo que un 27,5 % podrían tener un caso de AOS de alto riesgo. Adicionalmente, la sensibilidad del cuestionario STOP para los casos mayores de 5 interrupciones/hora, mayores o iguales que 15

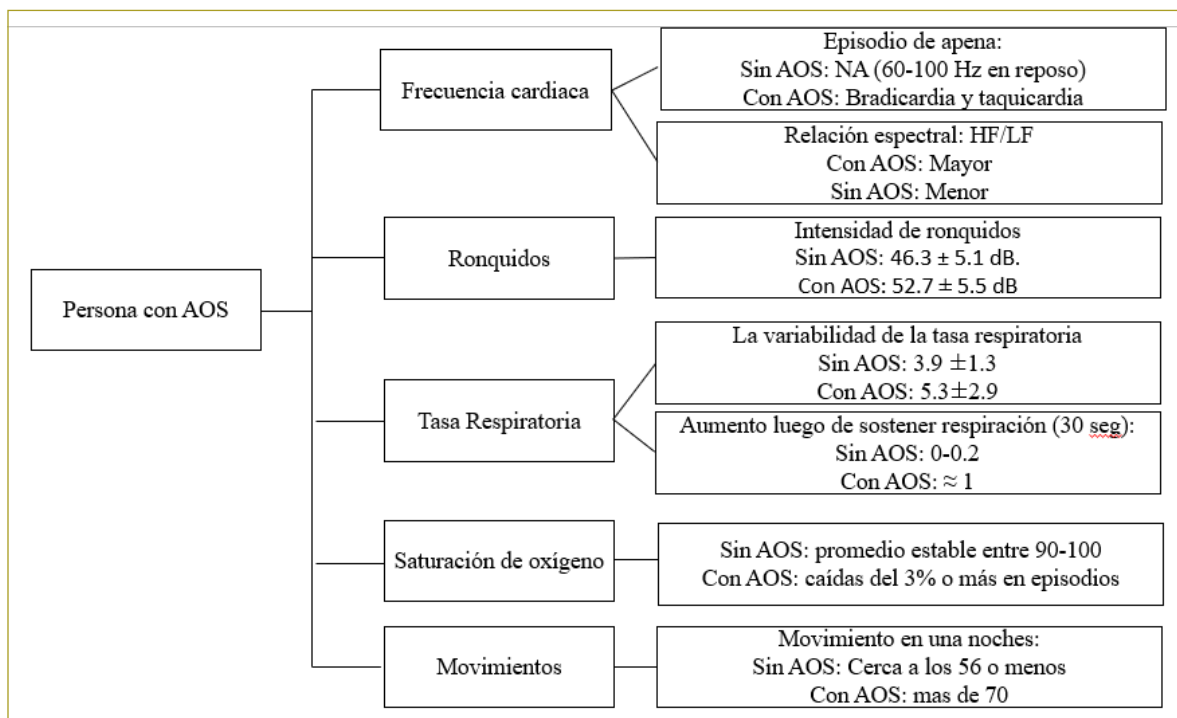


Figura 1. Indicadores fisiológicos diferenciales en personas con AOS.

interrupciones/hora y mayores de 30 interrupciones/hora se obtuvieron como 65,6 %, 74,3 % y 79,5 %, respectivamente, lo cual evidencia un buen porcentaje de exactitud en el diagnóstico y una mayor precisión para casos de AOS moderada o grave. El cuestionario realizado consiste en preguntas de formato sí/no, y se utilizó una base de datos de Microsoft Access para su procesamiento y análisis, además de la verificación de sus resultados con los obtenidos mediante el estudio de la polisomnografía.

Otro estudio que se enfoca en el uso de un cuestionario para la detección de la apnea del sueño se observa en [6], en el cual se utiliza el cuestionario de Berlín, tomando una población de muestreo de 744 adultos, de los cuales 100 se sometieron a un estudio del sueño. El cuestionario se enfocó en tres categorías principales: la presencia y la frecuencia del ronquido, la somnolencia o la fatiga al despertar y los antecedentes de obesidad o hipertensión; en cada categoría se definía el nivel de riesgo del paciente, dependiendo de la persistencia en síntomas de cada categoría. Para la categoría 1 (ronquidos) y la categoría 2 (somnolencia) se definió de alto riesgo una persistencia de tres a cuatro veces por semana, y para la categoría 3 (hipertensión) se definió de alto riesgo un índice de masa corporal superior a 30 kg/m^2 .

El cuestionario consiste principalmente en una pregunta introductoria y cuatro preguntas de seguimiento a síntomas de ronquidos, tres preguntas referentes a somnolencia diurna, una subpregunta sobre el tema de la somnolencia al volante y una pregunta sobre antecedentes de presión arterial alta. Para el análisis estadístico de los datos se utilizaron la prueba de correlación de Pearson y el nivel de significancia, con el fin de comparar las respuestas del cuestionario y los grupos de riesgo.

Los resultados obtenidos en la investigación reflejaron que el cuestionario de Berlín tiene una capacidad para predecir RDI (índice de alteración respiratoria) muy similar a la obtenida mediante la polisomnografía, alcanzando una sensibilidad del 86 % para casos de RDI superiores a 5 y convirtiéndose así en una herramienta importante para la detección de la AOS, sin necesidad de que haya un encuentro médico-paciente.

De acuerdo con las dos investigaciones anteriores, en [7] se hace un estudio para determinar cuál cuestionario brinda los mejores resultados. Principalmente se evalúan el cuestionario STOP, STOP-Bang, el cuestionario de Berlín y la escala ESS. La población de muestreo consistió en 212 pacientes de la clínica de trastornos respiratorios del sueño del Hospital del Colegio Médico de la Unión de Pekín, entre 2011 y 2012.

La escala ESS incluía preguntas sobre la somnolencia, donde una puntuación superior a 11 de 17 puntos totales representaba un alto riesgo de hipersomnia. El cuestionario de Berlín incluía tres categorías, como se refleja en [6], enfocándose en el ronquido, la fatiga y la hipertensión; constaba de diez preguntas y categorizaba a un paciente como alto riesgo de AOS al puntuar en dos o en las tres categorías. En el cuestionario STOP había cuatro preguntas sobre el ronquido, el cansancio, la observación y la presión arterial, como se refleja en [5]; contenía preguntas de sí/no y categorizaba como alto riesgo responder sí a dos o más preguntas. El cuestionario STOP-Bang (una evolución del cuestionario STOP) consistía en las mismas cuatro preguntas del cuestionario STOP y adicionaba cuatro más referentes al IMC (índice de masa corporal), la edad, la circunferencia del cuello y el género. Con respuestas positivas en tres o más ítems se categorizaba como alto riesgo.

Los resultados obtenidos en el estudio se analizaron siguiendo el manual de la Academia Estadounidense de Medicina del Sueño (AASM) y mediante pruebas estadísticas como la prueba T y chi-cuadrado. El análisis evidenció que el cuestionario STOP-Bang proporciona una mayor sensibilidad que los demás cuestionarios en la detección de la AOS moderada y grave, el cuestionario STOP y STOP-Bang tuvieron mejor validez que el cuestionario de Berlín y la escala ESS no pudo reflejar la gravedad de los casos de AOS detectados, por lo que se concluye que el cuestionario STOP-Bang proporciona los mejores resultados en la detección y clasificación de casos de la AOS.

De acuerdo con los estudios mencionados, una de las características principales de los cuestionarios consiste en la clasificación de las preguntas en síntomas que en conjunto pueden reflejar un caso de AOS, por lo que es de gran importancia determinar cuáles son los principales síntomas o grupos clínicos en los que se pueden clasificar pacientes que sufren algún tipo de AOS. En [8] se presenta un estudio hecho en Islandia, en el que se identifican tres grupos clínicos de acuerdo con síntomas y comorbilidades, y se analizan esta clasificación y su posible generalización internacional. Como población de muestreo se tomó a 972 pacientes de AOS moderada y grave del Consorcio Interdisciplinario Global de Apnea del Sueño (Sagic), y se efectuaron análisis de síntomas autoinformados, hipertensión, enfermedades

cardiovasculares y diabetes. Como resultado se obtuvo una clasificación de tres grupos para Islandia y de cinco grupos para la muestra internacional, donde los tres grupos nacionales se enfocaron en el insomnio, en síntomas leves y en el sueño excesivo. Para los grupos internacionales, de acuerdo con el análisis estadístico (valor BIC más bajo), se determinó que los cinco grupos se distribuyen en sueño perturbado, síntomas mínimos, síntomas de las vías respiratorias superiores con somnolencia, síntomas de la vía respiratoria superior dominante y somnolencia dominante. Los resultados de este estudio proporcionan una clasificación aproximada para los pacientes de la AOS según sus síntomas, lo que ayuda a mejorar los posibles tratamientos al enfocarlos hacia los síntomas específicos que refleje cada paciente.

En [9] se presenta un estudio similar al realizado en [8], en el cual se plantea determinar si los tres subgrupos de OSA encontrados en [8] para Islandia son aplicables a una cohorte basada en la población en Corea. Como población de muestreo se toman 2918 participantes, donde 422 son casos de AOS moderada o grave diagnosticados por estudios del sueño en el hogar mediante un dispositivo portátil de monitoreo del sueño (Embletta X-100; Embla Systems). Los datos obtenidos se sometieron a un análisis estadístico mediante las pruebas chi-cuadrado y exactas de Fisher. Como resultado de esto se obtuvo que los tres grupos caracterizados en el estudio de Islandia se ajustaban de manera correcta, al utilizar criterio bayesiano (BIC). Se identificaron tres subgrupos de AOS en la comunidad asiática de acuerdo con el sueño alterado, el sueño excesivo y mínimamente sintomático, donde este último fue el más prevalente (55,7 %), seguido del sueño excesivo (22,9 %) y el sueño alterado (14,5 %).

Como herramienta alternativa para detectar la AOS, en [10] se realiza un estudio para distinguir con precisión los casos diagnosticados de AOS, y los que no son casos, utilizando el registro de salud electrónico (EHR) en seis sistemas de salud en Estados Unidos. El algoritmo aprovecha en forma rutinaria los recuentos de los códigos de diagnóstico de la Clasificación Internacional de Enfermedades (ICD) específicos de la enfermedad en el EHR, identificando los códigos relacionados con enfermedades del sueño. Como población de muestreo se tomó a 1320 personas, de las cuales 720 eran casos positivos y 600 casos negativos. Se calcularon el valor predictivo positivo (VPP) y el calor predictivo negativo

(VPN). Los resultados obtenidos mostraron un buen rendimiento para ambos casos, teniendo un intervalo de confianza del 95 % para VPP y del 95,5 % para el VPN, mediante un análisis estadístico con pruebas T, chi-cuadrado y exactas de Fisher. Los códigos de diagnóstico utilizados son los siguientes: 327,20 (apnea orgánica del sueño, no especificada), 327,23 (apnea obstructiva del sueño [adulto, pediátrica]), 327,29 (otra apnea orgánica del sueño), 780,51 (insomnio con apnea del sueño), 780,53 (hipersomnolia con apnea del sueño), 780,57 (apnea del sueño [NOS]), G4730 (apnea del sueño, no especificada), G4733 (apnea obstructiva del sueño [adulto, pediátrico]) y G4739 (otras apneas del sueño).

Una vez caracterizados tanto los cuestionarios que se van a aplicar, como los subgrupos en que se pueden clasificar los pacientes de AOS, es importante analizar la relación de este trastorno del sueño con otras enfermedades, como problemas respiratorios o del corazón. En [11] se determina si los datos polisomnográficos de rutina se pueden usar para identificar los grupos de AOS y evaluar las asociaciones entre estos grupos y los resultados cardiovasculares. Se toma una población de muestreo de 1247 personas formadas por ancianos estadounidenses, donde, de acuerdo con las características polisomnográficas, se clasificaron en siete grupos: “leve”, “movimientos periódicos de las extremidades durante el sueño (PLMS)”, “NREM y despertar”, “REM e hipoxia”, “hipopnea e hipoxia”, “despertar y sueño deficiente” y “grave combinado”.

Los datos obtenidos de los estudios del sueño se usaron para captar la heterogeneidad fisiológica de la AOS en relación con los resultados cardiovasculares clínicamente relevantes. Se determinó que cuatro subgrupos representan los procesos fisiopatológicos informados como causales entre la AOS y la ECV: trastornos respiratorios, desregulación autonómica, hipoxemia y trastornos del sueño. Adicionalmente, se evidenció que los PLMS son importantes para la identificación de pacientes con mayor riesgo de ECV, así como los grupos de “hipopnea e hipoxia” y “grave combinado” se asociaron con un mayor riesgo de padecer alguna enfermedad cardiovascular.

Finalmente, en [12] se efectúa un estudio con un objetivo similar al buscado en [11], donde se busca caracterizar los subtipos de síntomas de AOS y evaluar su asociación con enfermedades cardiovasculares. Se

utilizó una población de muestreo de 1207 pacientes de AOS y se realizó una regresión logística para evaluar las asociaciones entre los subtipos de AOS y la prevalencia de una enfermedad cardiovascular. Los subtipos de AOS se identificaron en cuatro subgrupos: trastorno del sueño (12,2 %), mínimamente sintomático (32,6 %), excesivamente somnoliento (16,7 %) y moderadamente somnoliento (38,5 %). Como resultados obtenidos, se identificó la presencia de múltiples afecciones cardiovasculares, como ECV (26,3 %), CHD (18,7 %), HF (14,5 %), accidente cerebrovascular (6 %) y mortalidad cardiovascular (8,7 %). Se identificó que el subgrupo de excesivamente somnoliento se asoció con más del triple de riesgo de insuficiencia cardíaca que los demás subgrupos, por lo que tiene un mayor riesgo de ECV incidentes o recurrentes.

METODOLOGÍA

Diagnosticar la AOS mediante instrumentos de cribado forma parte de un diseño metodológico cualitativo [12]. Como se muestra a continuación, la identificación y selección del instrumento de cribado previamente establecido permitirá reforzar y complementar los resultados obtenidos a través de la metodología cuantitativa (figura 2).

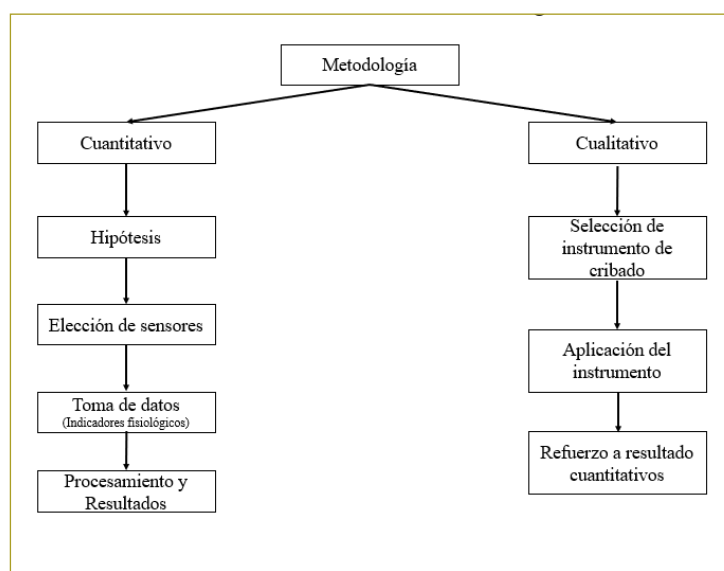


Figura 2. Metodología de la investigación.

RESULTADOS

El resultado de la revisión de estado del arte fue la selección de la encuesta por cuestionario STOP-Bang, como instrumento de cribado para diagnosticar la AOS. A continuación, se presenta el cuerpo del documento adaptado a esta investigación.

Los invitamos a participar en el desarrollo del proyecto de investigación “Diseño de un sistema de monitorización de bajo costo para diagnosticar la apnea obstructiva del sueño”, propuesto por el Ph.D. e ingeniero Hernán Paz Penagos, que se lleva a cabo en la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Antes de decidir sobre su participación, consideramos importante que entienda los objetivos de este proyecto y las tareas que realizará, si acepta participar. Por favor, tómese el tiempo para leer cuidadosamente este folleto. Lo invitamos además a preguntarnos todo lo que considere necesario para clarificar cualquier duda que le surja. Desde ya, le agradecemos el tiempo destinado a considerar su participación.

El propósito de la investigación es diseñar y construir un sistema para diagnosticar la apnea obstructiva del sueño: de bajo costo, sin cables y de fácil interpretación de los resultados por parte del paciente. Actualmente, la detección de AOS se hace a través de la polisomnografía. En Colombia, por temas de costos y disponibilidad, solo una pequeña parte de la población puede acceder al examen. El sistema multicanal integra predictores clínicos y cuestionarios de cribado para apoyar el diagnóstico temprano y oportuno de la AOS.

La participación en este estudio es enteramente VOLUNTARIA y GRATUITA. Si está interesado en participar, en primer lugar, le pediremos que lea este folleto. Luego, si decide intervenir, le pediremos que firme un formulario de consentimiento de participación. Si elige no intervenir, no hay ningún inconveniente y no es necesario que termine la lectura de este folleto. Aun cuando decida participar, usted podrá revocar su decisión en cualquier momento y abandonar las tareas que se hayan solicitado, sin necesidad de dar razones para ello. El retirarse no le generará ningún perjuicio.

Si decide participar, le pediremos que, conectado(a) al sistema para uso de investigación, intente dormir. *Se estima que el estudio completo requiere una noche.* El índice de su dedo de la extremidad superior será conectado a un pulsoxímetro; el sensor de posición corporal se ubicará en una de las extremidades inferiores; las frecuencias respiratoria y cardíaca se detectarán mediante un sensor ubicado en una banda toracoabdominal; el micrófono para detectar los ronquidos será sostenido por una cánula nasal. Todos ellos permitirán obtener registros sobre la saturación de oxígeno en la sangre, tasas respiratoria y cardíaca, ronquidos y movimientos involuntarios durante una noche al dormir. Debe destacarse que los dispositivos electrónicos que se van a utilizar satisfacen estándares de uso médico en laboratorio y en la práctica clínica, por lo que, en sus etapas de diseño y fabricación, se han dotado con las condiciones de seguridad eléctrica adecuadas. La interacción con los dispositivos electrónicos implica la colocación de una pinza sobre el dedo índice, una banda toracoabdominal, un micrófono y una unidad inercial sobre una de las extremidades inferiores.

Al día siguiente, llenará una encuesta de cribado en un computador, y por último leerá con atención sobre la pantalla del computador los resultados del diagnóstico, con el fin de indicar si la información suministrada es clara, sencilla e inteligible.

El consentimiento informado y los datos registrados no se podrán divulgar, pues son confidenciales. Luego, los datos se utilizarán para los fines de este proyecto y, eventualmente, los emplearán otros miembros del laboratorio. Se mantendrá el anonimato de *todos* los participantes. Posteriormente, en el consentimiento informado, leerá una cláusula en la que pedimos su permiso para la utilización de los registros que de usted se obtengan, en seminarios, cursos o publicaciones. En este aspecto, cabe aclarar que, aun cuando acceda a que estos se publiquen, su nombre y sus datos personales quedarán en el anonimato. Los datos obtenidos se utilizarán exclusivamente con fines académicos (durante el transcurso de esta tesis y tareas de docencia), así como para actividades de investigación, en caso de que algún miembro del laboratorio los requiera.

¿Dónde se hará la toma de datos?

En las instalaciones de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

¿Cuáles son los beneficios de participar en el estudio?

Es posible que de este estudio *no surjan beneficios directos para usted*, más allá de un diagnóstico de la AOS. Esperamos que la información contribuya a complementar el diagnóstico de este trastorno, que posteriormente beneficiará a toda la población, pues la detección de casos de apnea en fases tempranas ayudará a que un especialista pueda brindar el debido tratamiento.

¿Quién está organizando y llevando a cabo este estudio?

Esta actividad se está desarrollando en el marco del proyecto interno “Diseño de un sistema de monitorización de bajo costo para diagnosticar la apnea obstructiva del sueño”, propuesto y dirigido por el Ph.D. e ingeniero Hernán Paz, acompañado de su equipo de investigación del programa de Ingeniería Electrónica y miembros del laboratorio.

¿A quién puedo contactar si requiero más información?

Para más información, puede contactarnos a través de los siguientes medios:
Ph.D. Hernán Paz Penagos: e-mail: hernan.paz@escuelaing.edu.co
Tel.: (60-1) 668 3600, ext. 357.

Ronquidos

¿Usted ronca fuerte? (¿lo suficiente para que lo escuchen a través de puertas cerradas o para que la persona con la que duerme lo mueva por sus ronquidos?).
SÍ/NO

Cansancio

¿Se siente usted frecuentemente cansado, fatigado o somnoliento durante el día? (por ejemplo, ¿se queda usted dormido mientras conduce o habla con alguien?).
SÍ/NO

Observación

¿Alguien lo ha visto dejar de respirar o ahogarse/jadear durante el sueño?
SÍ/NO

Presión arterial

¿Sufre de hipertensión arterial o lo están tratando por esta condición?
SÍ/NO

¿Su índice de masa corporal es mayor de 35 kg/m²?
SÍ/NO

BMI = weight (kg) / height² (m²)

¿Mayor de 50 años?

SÍ/NO

Tamaño del cuello (medido alrededor de la manzana de Adán).

¿El cuello de su camisa mide 16 pulgadas/40 cm o es más grande?
SÍ/NO

Género

Hombre

SÍ/NO

Para la población en general:

OSA - Bajo riesgo: Sí a 0-2 preguntas.

OSA - Riesgo intermedio: Sí a 3-4 preguntas.

OSA - Alto riesgo: Sí a 5-8 preguntas.

- Sí a 2 o más preguntas del cuestionario STOP + género masculino.
- Sí a 2 o más preguntas del cuestionario STOP + IMC > 35 kg/m².
- Sí a 2 o más preguntas del cuestionario STOP + circunferencia del cuello de 16 pulgadas/40 cm.

El valor añadido de este sistema reside en la comodidad del usuario y la reducción de la invasión durante la toma de mediciones. Esto se logra al minimizar el cableado del sistema y enviar los datos de forma inalámbrica a través de wifi. A diferencia de una polisomnografía, que requiere un cableado extenso y sensores colocados alrededor del cuerpo y la cara en una cama ajena, este sistema permite que el paciente duerma en la comodidad de su hogar, sin sentirse incómodo debido a la cantidad de cables y sensores invasivos en su cuerpo.

CONCLUSIONES

De acuerdo con el estudio del estado del arte hecho, se evidencia la estandarización que se ha ido realizando en múltiples áreas en el estudio de la AOS, identificando el cuestionario STOP-Bang como el mejor cuestionario para implementar; se definió además que las principales categorías en las que se pueden clasificar los pacientes de AOS varían de tres a cinco grupos, dependiendo de factores étnicos y físicos. De la pesquisa hecha en la revisión de arte se identificó una relación directa entre pacientes con AOS y posibles afecciones cardiovasculares en el presente o en el futuro.

REFERENCIAS

- [1] Aguirre Navarrete, R. I. (2013). Cambios fisiológicos en el sueño. Hospital Teodoro Maldonado Carbo. *Revista Ecuatoriana de Neurología*, 22(1-3), 60-67.
- [2] Miró, E., Cano Lozano, M. D., & Buela Casal, G. (2005). Sueño y calidad de vida. *Revista Colombiana de Psicología*, (14), 11-27.
- [3] Keenan B.T., Kim, J., Singh, B. et al. (2018). Recognizable clinical subtypes of obstructive sleep apnea across international sleep centers: a cluster analysis. *Sleep*, 41(3):zsx214. doi: 10.1093/sleep/zsx214.
- [4] Hidalgo-Martínez, P. & Lobelo, R. (2017). Epidemiología mundial, latinoamericana y colombiana y mortalidad del síndrome de apnea-hipopnea obstructiva del sueño (Sahos). *Rev. Fac. Med.* 65: S17-20. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v65n1Sup.59565>.
- [5] Chung, F., Yegneswaran, B., Liao, P. et al. (2008). STOP questionnaire: A tool to screen patients for obstructive sleep apnea. *Anesthesiology* 2008, 108, 812-821.
- [6] Netzer, N.C., Stoohs, R. A., Netzer, C. M. et al. (1999). Using the Berlin Questionnaire to identify patients at risk for the sleep apnea syndrome. *Ann Intern Med*, 131(7). 485-491.
- [7] Luo, J., Huang, R., Zhong, X. et al. (2014). STOP-Bang questionnaire is superior to Epworth sleepiness scales, Berlin questionnaire, and STOP questionnaire in screening obstructive sleep apnea hypopnea syndrome patients. *Chin Med J*, 127(17), 3065-3070.
- [8] Kim, J., Keenan, B. T., Lim, D. C. et al. (2018). Symptom-based subgroups of Koreans with obstructive sleep apnea. *J Clin Sleep Med*, 14(3): 437-443. doi: 10.5664/jcsm.6994.
- [9] Keenan, B. T., Kirchner, H. L., Veatch, O. J. et al. (2020). Multisite validation of a simple electronic health record algorithm for identifying diagnosed obstructive sleep apnea. *J Clin Sleep Med*, 16(2), 175-183. doi: 10.5664/jcsm.8160.
- [10] Zinchuk, A. V., Jeon, S., Koo, B. B. et al. (2018). Polysomnographic phenotypes and their cardiovascular implications in obstructive sleep apnea. *Thorax*, 73(5), 472-480. doi: 10.1136/thoraxjnl-2017-210431.
- [11] Mazzotti, D. R., Keenan, B. T., Lim, D. C. et al. (2019). Symptom subtypes of obstructive sleep apnea predict incidence of cardiovascular outcomes. *Am J Respir Crit Care Med*, 200(4), 493-506. doi: 10.1164/rccm.201808-1509OC.
- [12] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la investigación* (5.ª ed.). México: McGraw-Hill / Interamericana Editores.

La pulvimetalurgia: estrategia clave para el refuerzo de los aceros inoxidables austeníticos

Powder metallurgy: a key strategy for strengthening austenitic stainless steels

AÍDA MILENA ECHAVARRÍA GARCÍA¹ - DAVID LEONARDO BLANCO-ESTUPIÑÁN² -
ÁNGELA LORENA CÁRDENAS³ - PAULA ALEJANDRA CONTRERAS GONZÁLEZ⁴

1. Profesora del Programa de Ingeniería Mecánica.

2. Profesor del Programa de Ingeniería Mecánica.

3. Profesora del Programa de Ingeniería Mecánica.

4. Estudiante del Programa de Ingeniería Mecánica.

Grupo de Investigación Diseño Sostenible en Ingeniería Mecánica (DSIM), Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

aida.echavarria@escuelaing.edu.co - david.blanco@escuelaing.edu.co -
angela.cardenas-m@escuelaing.edu.co - paula.contreras@mail.escuelaing.edu.co

Recibido: 16/02/2023 Aceptado: 25/03/2023

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

En esta revisión del estado del arte, se incluyen conceptos relacionados con la fabricación de piezas en materiales compuestos de matriz metálica (MMC), especialmente el refuerzo de aceros inoxidables austeníticos con materiales cerámicos, mediante la ruta sólida conocida como pulvimetalurgia.

La definición misma del proceso, características y propiedades de los materiales utilizados, así como sus aplicaciones, se abordan en este artículo.

Palabras claves: pulvimetalurgia, acero inoxidable, partículas, matriz, refuerzo.

Abstract

In this state-of-the-art review, concepts related to the manufacturing of parts in metal matrix composites (MMC) are included, with a focus on reinforcing austenitic stainless steels with ceramic materials through the solid route known as powder metallurgy.

The article covers the definition of the process itself, characteristics and properties of the materials used, as well as their applications.

Keywords: Powder metallurgy, stainless steel, particles, matrix, reinforcement.

INTRODUCCIÓN

Los materiales compuestos de matriz metálica, conocidos por su sigla en inglés MMC (*metal matrix composite*), exhiben una combinación estratégica de propiedades. Los MMC se suelen clasificar según su tipo de matriz y según la forma del refuerzo. Propiedades como la tenacidad y el aprovechamiento del rango plástico de los metales, combinados con la dureza, la resistencia a elevadas temperaturas, la inercia química y las propiedades tribológicas de los materiales cerámicos, resultan en una inigualable combinación, de donde surge un material con altas prestaciones mecánico-térmicas. La incapacidad de estos componentes de disolverse el uno en el otro hace posible que se puedan aprovechar las propiedades inherentes a cada tipo de material, pero de su procesamiento depende el éxito de su uso, dado que la interfase (zona donde interactúan ambos componentes) debe ser lo más compatible posible, mediante enlaces de carácter físico. Por lo general, el rol de matriz lo cumple el material metálico, y el papel de refuerzo lo desempeña el material cerámico; juntos y en una proporción adecuada (donde la mayoría de las veces la matriz ocupa el mayor volumen del material), se alcanzan propiedades que por sí solo cada componente no lograría.

En la actualidad, es tema de investigación y desarrollo la ruta de procesamiento a partir de polvos para la fabricación de piezas, conocida como pulvimetalurgia o metalurgia de polvos (PM); esta es una ruta de procesamiento para la conformación de materiales en estado sólido, que se usaba inicialmente para el diseño y la fabricación de aleaciones metálicas, pero que en la actualidad ha puesto sobre la mesa el desarrollo de materiales compuestos de matriz metálica. Sin embargo, el diseño y la fabricación de materiales compuestos de matriz metálica deben ser rigurosos, hasta el punto de que la porosidad, la fracción del volumen, la interacción matriz-refuerzo y la densidad del material afectan significativamente el resultado final del componente y sus propiedades (1).

Además de las propiedades mencionadas anteriormente, que son impartidas por los refuerzos de carácter cerámico a una matriz metálica dúctil, como por ejemplo de acero, están la resistencia a la absorción de humedad, la disminución en la conductividad térmica y eléctrica (si la aplicación proyectada así lo requiere), y una mejor resistencia a la fatiga (1,2).

Las matrices de acero se pueden reforzar con una amplia gama de materiales cerámicos, ya sean estos en material particulado, *whiskers* o material nanoestructurado, como el grafeno, los nanotubos de carbono o la nanocirconia. Entre los materiales cerámicos más comunes usados como refuerzo están las partículas de óxidos tales como Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , ZrO_2 y ZnO ; también se pueden reforzar con nitruros como el TiN , BN , Si_3N_4 , o con boruros como TiB_2 , ZrB_2 . Los materiales que en la actualidad han llegado a mostrar resultados excepcionales en sus propiedades son los reforzados con carburos de titanio, de silicio y de boro, hasta llegar a la utilización de materiales de refuerzo tan especiales como WS_2 o el diamante (3).

El procesamiento por metalurgia de polvos promueve una distribución homogénea del material de refuerzo en la matriz. Esto se consigue a través de procesos de molienda de alta energía, logrando una alta dispersión del refuerzo en la matriz, compatibilizando ambos componentes en la interfase mediante la aplicación de altas presiones, para terminar con un proceso de sinterizado, donde concluye el proceso de liga física y obtención del material final. Pese a que la metalurgia de polvos presenta muchas ventajas, entre ellas el ahorro en uso del material, el control de la composición química, microestructura y propiedades mecánicas de los productos finales, al momento de reforzar se debe tener en cuenta principalmente la morfología del refuerzo y que su cantidad sea mínima, para evitar saturar y fragilizar el material resultante (4).

En este artículo se hará una revisión, en la que se describirán los materiales compuestos de matriz metálica de aceros inoxidable, que se han venido reforzando con partículas cerámicas, con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, tribológicas y térmicas, dando un plus al comportamiento frente a la corrosión que presentan estos aceros.

LA PULVIMETALURGIA, UNA RUTA DE PROCESAMIENTO DE MATERIALES EN EL ESTADO SÓLIDO

A continuación se describen las etapas para la conformación de piezas mediante el procesamiento por vía sólida convencional, conocido como pulvimetalurgia (PM). Las etapas se resumen en preparación de polvos, mezcla (aleación mecánica en muchos casos), compactación y proceso de sinterizado, que se utilizan

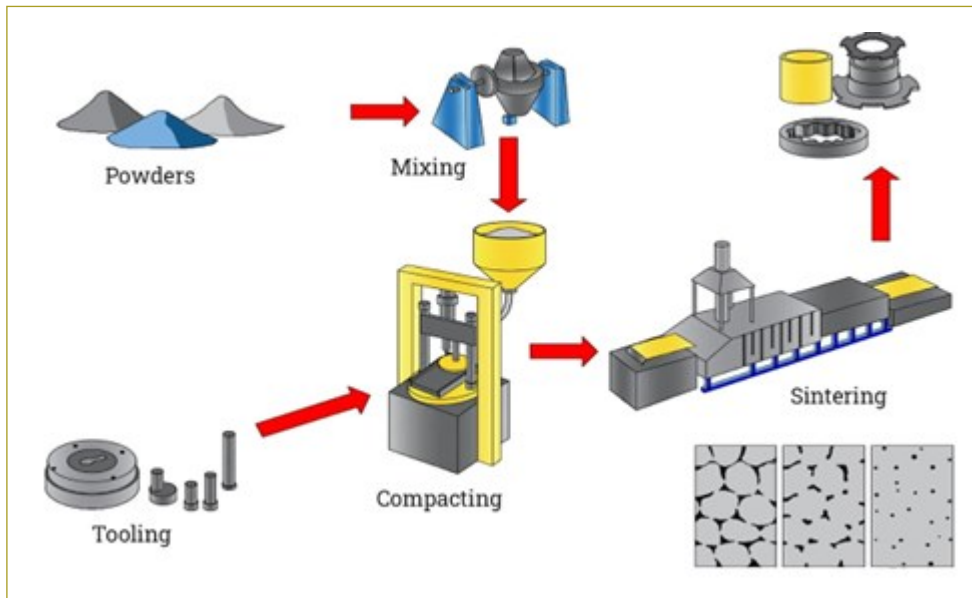


Figura 1. Etapas del proceso de pulvimetalurgia (7).

para formar compactos verdes con densidad y forma controladas (figura 1).

En cada etapa podrá haber variaciones, que se hacen para incrementar la eficiencia en cada una de ellas, y la adaptación a los requisitos de cada pieza. La pulvimetalurgia presenta variantes al proceso convencional, como el caso del moldeo por inyección, el prensado isostático en caliente y la manufactura aditiva.

La primera etapa consiste en la preparación o selección de los polvos de partida; es decir, para el caso de un material compuesto de matriz metálica, se eligen el acero y el tipo de refuerzo, en las cantidades apropiadas. La matriz, que en este caso sería el acero, debe estar en mayor proporción y tener la capacidad de envolver los refuerzos, compatibilizando la interfase. Por lo general, los polvos son caracterizados en su estado inicial, debido a que debe conocerse su morfología, en la cual varían las geometrías entre partículas esféricas, nodulares, irregulares, de nucleación dendrítica, aciculares, etc., todo acorde con su textura cristalográfica y con el método de producción del polvo, a través de procesos como la atomización del material fundido. En este proceso de obtención del polvo, el metal líquido se rompe mediante la aplicación de agua a presiones elevadas, en pequeñas gotas que luego se solidifican en pequeñas partículas que, en el caso de los aceros inoxidable, debe tenerse especial cuidado en que no haya incrementos muy altos de temperatura y trabajar en atmósferas protectoras para evitar la oxidación (5). Otros métodos que se pueden

emplear para la producción del polvo son la deposición electrolítica, la molienda de alta energía, la descomposición térmica y la reducción química (6).

La caracterización de los polvos indica la compatibilización que tendrá el refuerzo cuando entre en contacto con la matriz durante la conformación del material, ya que formas más esféricas suelen tener una mayor mojabilidad con la matriz; sin embargo, la rugosidad superficial de los refuerzos también interviene en un adecuado anclaje mecánico con la matriz. En la figura siguiente se presenta la morfología de algunas partículas cerámicas utilizadas como refuerzos cerámicos, tales como globulares y angulares (figura 2). En la segunda etapa se hace el proceso de mezcla y combinación de los polvos, en el que se adicionan aglutinantes y lubricantes, con el fin de compatibilizar los elementos de la mezcla y prevenir que los refuerzos de naturaleza cerámica sufran daños por abrasión o impacto, durante los esfuerzos causados durante la homogeneización. Este proceso debe llevarse a cabo con un control riguroso de sus variables, dado que allí se consigue que el refuerzo esté distribuido uniformemente en todo el volumen de la matriz. Entre los equipos más comunes para la mezcla de los polvos se encuentran los tambores giratorios con husillos o aspas (7).

La tercera etapa consiste en la compactación de la mezcla de polvos, proceso que requiere la aplicación de presión, compactando por compresión los polvos en un dado o molde. La lubricación durante el proceso de

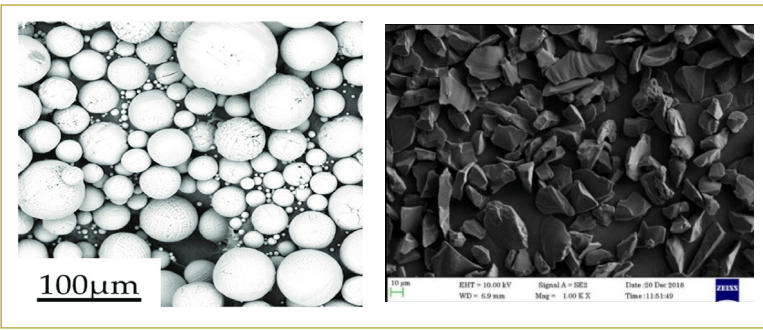


Figura 2. Imágenes mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) de polvos cerámicos de a) alúmina (Al_2O_3); b) Carburo de boro (BC), (8), usados como refuerzos para matrices metálicas de acero.

compactación es esencial para evitar la adhesión de las partículas de polvo a las paredes del molde y para reducir las fuerzas de fricción que fragilicen el material durante el proceso de compactación. En esta etapa debe tenerse precaución, dado que aquí se garantiza que en la pieza se reduzca la mayor cantidad de espacios posibles y la pieza (conocida aquí como en estado “verde”) se densifique. Los valores de presión aplicados varían con el tipo de material y su ductilidad o tenacidad, manejándose así valores entre 100 MPa y 1600 MPa. Para materiales compuestos de matriz metálica reforzada con componentes cerámicos, los cristales suelen fracturarse, por lo que es de suma importancia aplicar las presiones suficientes para alcanzar un grado adecuado de densificación, sin llegar al daño del refuerzo (7).

En la cuarta y última etapa, se sinteriza la pieza en verde, dado que esta no tiene la suficiente firmeza. Este proceso consiste en realizar un proceso térmico cercano a los puntos de fusión de los polvos, con el fin de crear

una liga entre las partículas para garantizar el cierre de espacios que crean porosidades y podrían inducir a defectos en el material, comprometiendo la estabilidad mecánica de la pieza.

Para asegurarse de la calidad de la pieza fabricada mediante metalurgia de polvos, pueden realizarse una serie de técnicas de caracterización que permitan correlacionar la microestructura y la química del material con las propiedades mecánicas, tribológicas, de resistencia a la corrosión y a los esfuerzos térmicos. En la tabla siguiente se listan los ensayos que se les pueden hacer a las piezas, según el tipo de refuerzo que poseen y a la cantidad de este (tabla 1).

ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS

Dentro del gran grupo de materiales que se pueden fabricar por PM se encuentran los aceros inoxidable austeníticos, que se caracterizan por su elevado contenido de cromo (entre un 16 y un 26 % atómico), el cual conduce a la formación de carburos de cromo, que otorgan a estos aceros moderada a alta resistencia a la corrosión en ambientes agresivos, donde haya humedad, agentes clorados, radiación UV y sus combinaciones. Estos aceros pertenecen a las familias de las series 200 y 300 AISI, y su importancia radica en que aparte de su inercia química para servicio en temperaturas de hasta 650 °C, y que posee características microestructurales que facilitan su conformado y transformación.

Entre los aceros pulvimetalúrgicos reforzados o modificados que más estudios han generado debido a su futura aplicabilidad industrial se encuentran los aceros

Tabla 1
Ensayos para la obtención de las propiedades de los materiales fabricados mediante la técnica de pulvimetalurgia

Pruebas mecánicas	Pruebas tribológicas	Pruebas de resistencia a la corrosión y rendimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a la tracción • Resistencia a la compresión • Límite elástico • Elongación • Resistencia al impacto • Dureza • Resistencia al impacto 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinación coeficiente de fricción • Desgaste • Análisis de los mecanismos de falla 	<ul style="list-style-type: none"> • Inmersión en soluciones corrosivas (sales, ácidos) • Pruebas de cloruro férrico y ferroxilo, para detectar resultados inadecuados durante el sinterizado • Niebla salina • Pruebas de corrosión electroquímica

inoxidables austeníticos 316L y 304L, candidatos preferidos como matriz, dada su facilidad de conformación y ductilidad, que conducen a una mejora significativa cuando entran en sinergia con refuerzos cerámicos, sobre todo en las propiedades térmicas y tribológicas.

TIPOS DE REFUERZOS CERÁMICOS

Las investigaciones actuales se centran en estudios en los que la adición de elementos o grupos de elementos a los aceros austeníticos, durante el procesamiento por ruta sólida, sugieren cambios microestructurales en el material, que contribuyen al mejoramiento de las propiedades. Tal es el caso de los resultados reportados por Serafini y sus colaboradores (9), los cuales demostraron una mejora ostensible en la dureza y en la resistencia a la abrasión del acero AISI 316L, al adicionar boro en polvo durante el proceso de sinterizado, debido al incremento de la densificación del material. Jain y sus colaboradores, por su parte (10), obtuvieron resultados de la favorabilidad en el uso de óxidos de itrio de los tipos $Al_5Y_3O_{12}$ y $AlYO_3$, como refuerzos en el acero AISI 316L y en el acero ferrítico AISI 434L; los óxidos se ubicaron en zonas intragranulares del acero, permitiendo así una distribución homogénea del refuerzo en la matriz y un endurecimiento por precipitación del material. S. Balaji (11), a su vez, usó como refuerzos en su investigación aluminuros de los tipos Fe_3Al y Ni_3Al , en una matriz de AISI 316L; se observó el mejoramiento de propiedades mecánicas y de desgaste, sin cambios significativos en su comportamiento frente a la corrosión. El uso de compuestos intermetálicos y carburos de los tipos Cr_2Al , Cr_2Ti , VC, SiC, como refuerzos, en bajas cantidades (de hasta el 3 % en volumen), mejora la estabilidad frente al desencadenamiento de procesos corrosivos, sin disminuir las propiedades mecánicas como dureza y esfuerzo último (12); otra variable en consideración es la realización rigurosa del proceso del sinterizado, en atmósferas inertes ricas en nitrógeno, para la obtención de materiales densos, evitando así la oxidación. El proceso de sinterizado en atmósferas de hidrógeno promueve la obtención de materiales, cuya resistencia a la corrosión es mayor (13).

Las investigaciones recientes no solo se centran en el acero AISI 316L; otros, como los aceros 904L, 304, 316, 317L y 317, muy utilizados en la industria en diversas aplicaciones, son susceptibles de ser mejorados

mediante la adición de micro y nanorrefuerzos. Tal es el caso del acero 304, al cual, con la adición de partículas de carburo de tungsteno (WC), en diferentes cantidades, mejora las propiedades mecánicas, aplicando técnicas no convencionales de sinterizado, como el proceso de aleación por láser, procedimiento descrito por Chun-Ming Lin (14) en su estudio. Por otro lado, Oliveira y su grupo de trabajo (15) usaron el mismo acero inoxidable con partículas de WC para mejoramiento de resistencia a la corrosión, fabricando muestras por el método de la pulvimetalurgia.

APLICACIONES

El uso de los MMC fabricados por pulvimetalurgia depende directamente de la naturaleza del refuerzo. Por ejemplo, el SiC mejora ostensiblemente las propiedades térmicas, incrementa la dureza, la rigidez y la resistencia química, y en presencia de sales fundidas llega hasta 800 °C, siendo un candidato clave para aplicaciones en piezas de automóviles como rotores de freno y ejes de transmisión (16). Otros refuerzos proveen propiedades interesantes, como es el caso de ZnO, que puede incrementar la resistencia al desgaste, el aislamiento a las vibraciones, además de poseer propiedades biológicas por presentar comportamiento antibacterial (17). Como refuerzos de última generación se vienen estudiando los nanotubos de carbono (conocidos como CNT por su sigla en inglés), que proveen a la matriz de gran resistencia a la tracción, dureza, elevada resistencia-peso, disminuyendo el peso de partes para trenes de aterrizaje de aviones (2); o el grafeno, dada su alta movilidad de portadores y conductividad térmica, para la aeroespacial, la industria de la defensa, la electrónica y la automovilística (18).

Para el caso de la industria automotriz, especialmente en fabricación de autobuses, se ha visto el desarrollo de nuevas tecnologías relacionadas con materiales compuestos de matriz metálica, de matrices de aluminio (para aprovechar su ligereza) con refuerzos cerámicos de SiC, en pistones de compresores (19). Se ha comprobado que la relación entre el aluminio y carburo de silicio mejora ostensiblemente el coeficiente de fricción en componentes de frenado de automóviles (20). En aplicaciones donde sea primordial el uso de elementos livianos, como es el caso de las bielas, los materiales compuestos reforzados con Al-SiC, estas mejoraron

considerablemente las propiedades mecánicas comparadas con bielas fabricadas convencionalmente (21).

La industria de fabricación de vehículos observó que los nuevos materiales compuestos a base de Al-SiC y Al-TiC ofrecen mejores propiedades en los componentes del automóvil, incluidas partes del motor, como las válvulas de asiento, las cuales mejoran sus prestaciones a elevadas temperaturas y valores de tensión altos, lo que se traduce en el aumento de la vida útil de estos componentes (22).

En el campo aeroespacial, el uso de materiales compuestos de matriz metálica está vigente y evoluciona para mejorar prestaciones específicas, como es el caso de rotores para aeronaves fabricadas de materiales 2009/SiC/15p, en componentes de *jet* (actuadores y pistones) fabricados de compuestos MMC 6Al-2Sn-4Zr-2 Mo, reforzados con filamentos de SiC (23).

En la fabricación de los resortes de ballesta, piezas utilizadas como mecanismos para absorber impactos, se han realizado estudios en los cuales materiales compuestos metálicos ternarios, reforzados con Eglass/epoxy, Sglass/epoxy y carbono/epoxy, reducen significativamente el peso de este componente, en valores que oscilan entre 73 % y 80 % (24).

En el caso del acero inoxidable reforzado mediante el proceso de pulvimetalurgia, se aprovecha para la fabricación de piezas de geometrías complejas para la industria automotriz, la generación de energía y los dispositivos para uso biomédico. La industria automotriz utiliza este tipo de aceros en la fabricación de varios componentes de sistemas de escape, mientras que la industria de generación de energía la emplea para la fabricación de componentes de turbinas (25).

CONCLUSIONES

La pulvimetalurgia es una ruta de procesamiento en el estado sólido para la fabricación de piezas mediante la mezcla de polvos. Concebida inicialmente para la obtención de piezas metálicas de difícil procesamiento mediante métodos tradicionales de fundición, su evolución la ha llevado a convertirse en una estrategia para el diseño y la fabricación de materiales compuestos de matriz metálica, reforzados con partículas cerámicas. Dicha sinergia entre estos materiales ha conducido a investigaciones actuales relacionadas con el desarrollo de aceros inoxidables austeníticos, reforzados con material

cerámico, para potenciar sus propiedades tribológicas, mecánicas y térmicas, y frente a la corrosión.

La pulvimetalurgia ofrece un sinnúmero de ventajas, que incluyen un procesamiento donde sus parámetros se pueden controlar eficientemente, con el fin de obtener piezas densas y de baja defectología. Sumado a lo anterior las pérdidas de material son mínimas, dado que se calculan las masas necesarias para la obtención de las muestras, teniendo en cuenta las tolerancias dimensionales, cuando las piezas sufren de contracción durante la solidificación. La idea de no tener que alcanzar la temperatura de procesamiento hasta la de fusión de los diferentes materiales la convierte en una técnica ambientalmente amigable.

REFERENCIAS

1. Harpreet Singh, P.K., Jain, N.B., Saurabh, P. (s.f.). *Experimental study pertaining to microwave sintering (MWS) of Al-Metal matrix composite - A review*.
2. Ramanathan, A., Krishnan, P.K., Muraliraja, R. (2019). A review on the production of metal matrix composites through stir casting. Furnace design, properties, challenges, and research opportunities. Vol. 42, *Journal of Manufacturing Processes*. Elsevier Ltd, 213-245.
3. Saxena, A., Saxena, K.K., Jain, V.K., Rajput, S.K., Pathak, B.N. (2023). A review of reinforcements and process parameters for powder metallurgy-processed metal matrix composites. *Mater Today Proc.* Mar.
4. Razavi, M., Farajipour, A.R., Zakeri, M., Rahimipour, M.R., Firouzbakht, A.R. (2017). Production of Al₂O₃-SiC nano-composites by spark plasma sintering. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. 1;56(4): 186-194.
5. Al-Mangour, B. (2015). Powder metallurgy os stainless steel: state of the art, challenges and development. In K. Basak, A. Praminik (eds). Nova Science Publishers, Inc.
6. Asthana, R., Kumar, A.B., Dahotre, N. 3 (2006). Powder Metallurgy and Ceramic Forming, Crystalline Ceramics and Glasses. In *Materials Processing and Manufacturing Science*.
7. Industrial Quik Editorial [Internet] [cited 2023 Jun 12]. Available from <https://www.industrialquicksearch.com/>.
8. Dinaharan, I., Albert, T. (2023). Effect of reinforcement type on microstructural evolution and wear performance of copper matrix composites via powder metallurgy. *Mater Today Commun.* Mar 1;34.
9. Serafini, F.L., Peruzzo, M., Krindges, I., Ordóñez, M.F.C., Rodrigues, D., Souza, R.M. et al. (2019). Microstructure and mechanical behavior of 316L liquid phase sintered stainless steel with boron addition. *Mater Charact.* Jun 1;152:253-264.
10. Jain, J., Kar, A.M., Upadhyaya, A. (2004). Effect of YAG addition on sintering of P/M 316L and 434L stainless steels. *Mater Lett.* May;58(14).
11. Balaji, S., Vijay, P., Upadhyaya, A. (2007). Effect of sintering temperature on the electrochemical, hardness and tribological properties of aluminide-reinforced austenitic stainless steel. *Scri Mater.* 56(12):1063-1066.

12. Abenojar, J., Velasco, F., Torralba, J.M., Bas, J.A., Calero, J.A., Marcè, R. (2002). Reinforcing 316L stainless steel with intermetallic and carbide particles [Internet]. Vol. 335, *Materials Science and Engineering*. Available from: www.elsevier.com/locate/msea.
13. Abenojar, J., Velasco, F., Bautista, A., Campos, M., Bas, J.A., Torralba, J.M. (2003). Atmosphere influence in sintering process of stainless steels matrix composites reinforced with hard particles. *Compos Sci Technol* [Internet]. 63(1). Available from www.elsevier.com/locate/compscitech.
14. Lin, C.M. (2015). Functional composite metal for WC-dispersed 304L stainless steel matrix composite with alloying by direct laser: Microstructure, hardness and fracture toughness. *Vacuum*. Aug 17;121:96-104.
15. Oliveira, A.B., Bastos, A.C., Fernandes, C.M., Pinho, C.M.S., Senos, A.M.R., Soares, E. et al. (2015). Corrosion behaviour of WC-10% AISI 304 cemented carbides. *Corros Sci*. Nov 1;100:322-331.
16. Subramanya Reddy, P., Kesevan, R., Vijaya Ramanath, B. (2017). Investigation of Mechanical Properties of Aluminium 6061-Silicon Carbide, Boron Carbide Metal Matrix Composite. *Silicon*. 10(495).
17. Guo, Z., Xiong, J., Yang, M., Li, W. (2008). Microstructure and properties of tetrapod-like ZnO whiskers reinforced Al matrix composite. *J Alloys Compd*. Aug 11;461(1-2):342-345.
18. Zhao, Z., Bai, P., Du, W., Liu, B., Pan, D., Das, R. et al. (2020). An overview of graphene and its derivatives reinforced metal matrix composites: Preparation, properties and applications. *Carbon N Y*. Dec 1;170:302-3026.
19. Singh, H., Singh Brar, G., Kumar, H., Aggarwal, V. (2020). A review on metal matrix composite for automobile applications. In *Materials Today: Proceedings*. Elsevier Ltd; 320-325.
20. Rehman, A., Das, S., Dixit, G. (2012). Analysis of stir die cast Al-SiC composite brake drums based on coefficient of friction. *Tribol Int*. Jul;51:36-41.
21. Ramasubramanian, S., Chandrasekaran, M., Sridhar, R., Karunakaran, K. (2017). Design, manufacture and analysis of Al/SiC MMCs for connecting rod. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Institute of Physics Publishing.
22. Ramesh, K.C., Sagar, R. (1999). Fabrication of metal matrix composite automotive parts. Vol. 15, *Int J Adv Manuf Technol*.
23. Miracle, D.B., Donaldson, S.L. *ASM Handbook Volume 21: Composites*. 2001.
24. Patunkar, M.M., Dolas, D.R. (2011). Modelling and Analysis of Composite Leaf Spring under the Static Load Condition by using FEA. *International Journal of Mechanical and Industrial Engineering*. Jul;1-4.
25. Yao, B., Zhou, Z., Duan, L., Xiao, Z. (2016). Compressibility of 304 stainless steel powder metallurgy materials reinforced with 304 short stainless steel fibers. *Materials*. Mar 1;9(3).

Análisis del nivel de desarrollo de soluciones que forman en habilidades blandas mediante la taxonomía de Bloom

Analysis of the level of development of solutions that shape soft skills through Bloom's taxonomy

DIEGO ANDRÉS RIZO SÁNCHEZ¹ - ADRIANA MARCELA ZAMBRANO SÁNCHEZ²

1. Ingeniero civil de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9666-9416>

2. Profesora de planta de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9447-1476>

diego.rizo@mail.escuelaing.edu.co - adriana.zambrano@escuelaing.edu.co

Recibido: 15/03/2023 Aceptado: 30/04/2023

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

Existen diversos productos y servicios en el mercado que buscan mejorar las habilidades blandas, por lo que esta investigación tiene como objetivo analizar una muestra de soluciones que desarrollan las habilidades blandas más demandadas por las empresas de base tecnológica, a partir de una metodología de carácter descriptivo y documental que permitió analizar las metodologías, los objetivos y los resultados de aprendizaje de cada solución para determinar su nivel de desarrollo, de acuerdo con la taxonomía de Bloom. Se encontró que la mayoría de estas soluciones logran un nivel medio de desarrollo, es decir, “analizar” y “evaluar”.

Palabras claves: habilidades blandas, nivel de desarrollo, taxonomía de Bloom, competencias, educación, empresas de base tecnológica.

Abstract

There are various products and services in the market aimed at improving soft skills. Therefore, this research aims to analyze a sample of solutions that develop the most demanded soft skills by technology-based companies. The methodology used is descriptive and documentary, allowing the analysis of the methodologies, objectives, and learning outcomes of each solution to determine its level of development according to Bloom's taxonomy. It was found that most of these solutions achieve a moderate level of development, that is, 'to analyze' and 'to evaluate'.

Keywords: soft skills, level of development, Bloom's taxonomy, competences, education, technology-based companies.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el mercado laboral se basa en la previsión de las necesidades futuras en términos del desarrollo de competencias, las cuales engloban no solo las capacidades técnicas, sino también los comportamientos y habilidades blandas para ejecutar una tarea en un contexto determinado (Rivadeneira León, 2006). De acuerdo con la revista digital *Inesem*, las habilidades blandas más exigidas en el mercado laboral son el trabajo en equipo, resolución de conflictos, organización y planificación, habilidades comunicativas, actitud positiva, proactividad, capacidad de empatía, honestidad y ética profesional, capacidad de adaptación a los cambios y tolerancia a la presión (San Juan García, 2020).

Esto se refuerza con un estudio publicado en la revista científica *Ecociencia*, en el que se concluye que la formación de habilidades tanto blandas como duras es de suma importancia para responder a las nuevas exigencias que determina el mercado laboral, concluyendo que las habilidades blandas y la inteligencia emocional poseen una relación estrecha de carácter significativo, ya que son habilidades que se deben desarrollar a lo largo del ciclo estudiantil. Se deja en claro que los conocimientos son una parte importante de la persona pero no por eso es lo único que se debe aprender, pues también hay que ser capaz de expresarse y manejar las emociones para generar un desempeño óptimo laboralmente (Marrero Sánchez, Rachida Mohamed & Jordi Xifra, 2018).

Teniendo en cuenta este contexto, se identificó la necesidad de analizar una muestra de soluciones existentes en el mercado que desarrollan las habilidades blandas más demandadas por las empresas de base tecnológica, con el fin de determinar el nivel de desarrollo que consiguen en las personas, de acuerdo con la taxonomía de Bloom.

MARCO TEÓRICO

En una investigación realizada por ManpowerGroup (2019) se concluye que para lograr que la fuerza laboral sea apta para desempeñarse eficientemente en el futuro se deberán incorporar siete componentes básicos desde las organizaciones, como el liderazgo, comprender lo que quiere la fuerza laboral, asegurar que las mujeres sean parte de la solución, conocer las capacidades del equipo, personalizar la capacitación, apostar por habilidades profesionales y permitir que las personas

apuesten por la tecnología, por lo que se busca crear un puente entre los talentos y desarrollar sus habilidades. Así se ha llegado a concluir que las habilidades blandas poseen una repercusión en la efectividad laboral y en la del individuo, lo que ocasiona que estas sean aún más valoradas por los empleadores no solo en el momento de la selección, sino también a lo largo de la carrera profesional (Marrero Sánchez, Mohamed Amar & Xifra Triadú, 2018).

Para lograr esto último se debe reconocer la importancia de la educación como el método más eficaz para el desarrollo de habilidades blandas, ya que se forma al individuo desde el inicio de su carrera, teniendo como base las capacidades intelectuales, morales y éticas, entre otras, compartiendo conocimientos entre distintas áreas; por esto es necesario revolucionar la formación del ser para expresarse, trabajar en equipo e interactuar con los demás, siendo así habilidades esenciales para enfrentar los retos del siglo XXI (Bonilla Rada, 2020), que ante la inminente automatización del trabajo demandan competencias que faciliten el relacionamiento con los demás, las cuales se pueden aprender, tal como lo demuestra un estudio que buscaba crear un programa de entrenamiento de habilidades sociales. En este estudio se determinó que los estudiantes adquirieron habilidades que apoyaron su interacción social en el ámbito universitario, y se llegó a la conclusión de que las habilidades sociales pueden enseñarse mediante un constante proceso de alfabetización emocional, creando personas mentalmente competentes (Rivera y otros, 2019).

En la actualidad, desde la educación superior se busca que el estudiante desarrolle habilidades blandas para que sea más competitivo al momento de ingresar al mercado laboral o enfrentarse al mundo empresarial desde un emprendimiento; esta es una metodología basada en competencias en las que tiene una participación activa de los alumnos, que permite mejorar habilidades como la regulación emocional, la autogestión, la inteligencia emocional (intrapersonal e interpersonal) y las destrezas para mejorar su bienestar (Mira Agulló, Parra Meroño & Beltrán Bueno, 2017); también se debe crear desde la academia a jóvenes emprendedores e innovadores, que sean capaces de implementar los conceptos o comportamientos en la generación de nuevas ideas (Arancibia Carvajal, Donoso Pérez, Venegas Cabello & Cárdenas Espinosa, 2015), logrando así incorporar

a la sociedad jóvenes que sean capaces de aportar a un desarrollo económico no solo mediante un apoyo al emprendimiento, sino también a partir de diferentes técnicas administrativas y estrategias competitivas (Zisis, Moya & Molina, 2017).

No obstante, este tipo de metodologías de enseñanza-aprendizaje deben acompañarse de una transformación en los proyectos educativos, de tal manera que su flexibilidad les permita ser capaces de incorporar lo que se aprende en un entorno familiar y social con los objetivos de las instituciones educativas; esto se suma a la implementación de ambientes lúdicos, la gestión individual de información, la resolución de problemas de la vida e incluso hacer búsquedas para comprobar la veracidad de lo que el docente dice en clases (Ortega Santos, Febles Rodríguez & Estrada Senti, 2016). Esto exige que en el sector educativo también se fortalezcan las capacidades de los docentes, ya que ellos son los encargados de formar a los estudiantes en diferentes competencias, tales como saber escuchar, comunicar, retroalimentar, para que estas sean aplicadas en la vida profesional (Rodríguez Siu, Rodríguez Salazar & Fuerte Montaña, 2021).

Al pasar el tiempo, se encuentra que las habilidades blandas son susceptibles de ser desarrolladas, y un método de esto es la investigación formativa, la cual, a partir de diferentes metodologías didácticas, fomenta el uso de estas habilidades para fortalecerlas, con el fin de formar estudiantes competentes en varias áreas (García, Paca, Arista, Valdez & Gómez, 2018). También existe la implementación de entornos personales de aprendizaje, en los cuales, a partir de un ambiente centrado en el constructivismo y el aprendizaje autorregulado, se permite a los alumnos un constante desarrollo de habilidades blandas, como la comunicación, toma de decisiones, pensamiento crítico y habilidades sociales (Jiménez Becerra, Salamanca Espinosa & López López, 2018), y por último la implementación de la metodología de aprendizaje basado en proyectos, en el que se les permite a los alumnos aplicar sus conocimientos adquiridos durante la carrera en alguna situación de la vida real, en las cuales deben aplicar el trabajo en equipo, creatividad, resolución de problemas, toma de decisiones y los conocimientos adquiridos durante su carrera (González, Ferreira & Barranco, 2017). Esto también les permite usar ambientes interdisciplinarios regulados por las tecnologías de la información y la

comunicación (TIC) para fomentar la investigación, motivación y comunicación de los estudiantes (Zepe-da Hurtado, Cardoso Espinosa & Cortés Ruiz, 2019), quienes pueden alcanzar resultados de satisfacción en los estudiantes al lograr grandes avances en el proceso de poner en práctica la metodología AOP, ya que al enfrentarse ante situaciones reales aprendieron más de lo que tenían esperado y desarrollaron su creatividad al solucionar los problemas planteados en los proyectos (González Holguín, Ferreira Tavera & Barranco López, 2018).

Hasta el momento, no se han identificado investigaciones aplicadas a grandes grupos de estudiantes, por lo que no es posible hacer generalizaciones; es necesario realizar más estudios sobre el desarrollo y la relación entre las habilidades cognitivas y no cognitivas, mediante el apoyo constante en el proceso de aprendizaje (Ortega Goodspeed, 2016). A esto se suma el hecho de que al revisar los estudios se encuentra que no se han realizado suficientes investigaciones, enfocadas en analizar la oferta de productos o servicios que atiendan al desarrollo de las habilidades blandas más demandadas, de acuerdo con las necesidades del sector productivo.

METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló mediante una investigación descriptiva, que busca recolectar información en aras de especificar las propiedades y las características de los procesos, objetos o cualquier otro fenómeno (Hernandez Sampieri, Fernández Collado & Baptista Lucio, 2014) y una investigación documental, la cual busca una respuesta específica a partir de la indagación en documentos (Baena Paz, 2017).

Particularmente, se analizó una muestra de sesenta soluciones, veinte colombianas y cuarenta internacionales, evaluando sus metodologías, objetivos o resultados de aprendizaje, con el fin de identificar el nivel de desarrollo que pretende alcanzar cada producto o servicio dirigido a la formación de las habilidades.

Para esto se empleó la taxonomía de Bloom, la cual consiste en una clasificación de las habilidades que el estudiante debe adquirir al momento de finalizar cierto sistema de aprendizaje. Esta metodología se ha desarrollado con el paso del tiempo, enfocándose en los tres dominios de las habilidades educativas: el cognitivo, centrado en el uso de la memoria, atención, percepción,

creatividad, pensamiento abstracto o analógico; el afectivo, centrado en tomar decisiones, analizar los riesgos, autoconciencia, autoconducción, conciencia social y habilidades interpersonales, y el psicomotor, enfocado en todo el desarrollo de coordinación y motivación (López García, 2002).

Esta taxonomía incluye varios niveles de desarrollo, los cuales se dividen así:

- **Recordar:** Definido como usar la información adquirida en la memoria y utilizarla para producir o recuperar definiciones, hechos o listas, o para recitar información previamente aprendida.
- **Comprender:** Definido como la construcción de un significado basado en diferentes tipos de funciones como los mensajes escritos o gráficos, o actividades como interpretar, ejemplificar, clasificar, resumir, inferir, comparar o explicar.
- **Aplicar:** Definido como emplear procedimientos por medio de situaciones, donde el material aprendido se utiliza a través de productos como modelos, presentaciones, entrevistas o simulaciones.
- **Analizar:** Definido como dividir materiales o conceptos, determinar cómo se relacionan entre sí, y a la vez, detectar la forma en que las partes se relacionan con una estructura o propósito general a través de diferenciar, organizar y atribuir, así como también poder distinguir entre los componentes o partes. Cuando se está analizando, se puede ilustrar esta función mental con hojas de cálculo, encuestas, cuadros o diagramas, o representaciones gráficas.
- **Evaluar:** Definido como realizar juicios basados en criterios y estándares a través de verificaciones y críticas. Las críticas, recomendaciones e informes son algunos de los productos que se pueden crear para demostrar los procesos de evaluación.
- **Crear:** Definido como disponer elementos juntos para formar un todo coherente o funcional, reorganizando elementos en un nuevo patrón o estructura a través de la generación, planificación o producción. Crear requiere que los usuarios integren partes de una manera nueva, o sinteticen partes en algo nuevo y diferente, inventando una nueva forma o producto. Este proceso constituye la función mental más compleja en la taxonomía revisada (Campión, 2019).

Ahora bien, para definir el nivel de desarrollo de cada solución se analizó el texto a través de los verbos empleados en la información mencionada anteriormente (los objetivos, las metodologías y los resultados de aprendizaje), los cuales se compararon con los verbos estipulados en cada nivel y dominio de la taxonomía, para determinar el grado de desarrollo que se espera en las actividades formativas y así establecer el nivel de la taxonomía que logra desarrollar cada solución.

RESULTADOS

Con respecto al tipo de oferta, se identificó que se divide así:

- **Cursos:** Serie de clases o lecciones sobre un tema en particular, finalizando con un examen o una certificación (Knowly, 2020).
- **Aplicaciones o apps:** Programas informáticos que les permiten a los usuarios realizar una o varias funciones en simultánea, que se diseñan generalmente para dispositivos móviles (Gardner & Davis, 2014).
- **Capacitación:** Proceso educativo a corto plazo, aplicado de manera sistemática y organizada, por medio del cual las personas adquieren conocimientos, y desarrollan habilidades y competencias en función de objetivos definidos (Chiavenato, 2007).
- **Diplomados:** Serie de cursos con duración entre 80 y 120 horas que desarrollan temas muy específicos (Redacción Aprendemás, 2015).
- **Pasantías:** Estancias de adiestramiento en una institución de educación superior, generalmente con la supervisión de un tutor. El aspirante busca obtener un entrenamiento específico o la actualización de sus conocimientos en un entorno real (Mineducación, 2012).
- **Técnica:** Programa de formación en ocupaciones de carácter operativo e instrumental de especialización en su respectivo campo de acción, sin perjuicio de aspectos humanísticos propios del nivel (Mineducación, 1992).
- **Especialización:** Son programas de posgrado que tienen como propósito la cualificación del ejercicio profesional y el desarrollo de las competencias que posibiliten el perfeccionamiento en la misma ocupación, profesión o disciplina, o en áreas afines o complementarias (Mineducación, 1992); sin embar-

go, en algunas plataformas una especialización hace referencia a un conjunto de cursos obligatorios y electivos en los cuales se busca obtener las competencias con mayor demanda en la actualidad, para que así se logre superar con éxitos los retos exigidos (Toulouse-Lautrec, 2021).

- **Certificación:** Es la culminación de un proceso de reconocimiento formal de las competencias de los trabajadores; implica la expedición, por parte de una institución autorizada, de una acreditación acerca de la competencia que tiene el trabajador. En muchas instituciones de formación, la certificación se otorga como un reconocimiento a la culminación de un proceso de formación, basada en el tiempo de capacitación y práctica, así como en los contenidos evaluados (Centro Interamericano para el Desarrollo del Conocimiento, 2020).
- **Educación primaria:** Son cinco grados de educación formal, comprendidos después de la educación preescolar y antes de la educación básica secundaria (Mineducación, 2021).
- **Talleres:** Son unidades productivas de conocimiento en las cuales se busca, a partir de una realidad, transferir el conocimiento y transformarla (Maya, 2017).
- **Credencial digital:** Sistema que representa la experiencia del usuario conforme al estándar técnico de Open Badges (MindTools, 2021).
- **Multioferta:** Considerada para este artículo como una plataforma, la cual se encarga de recolectar diferentes formas de transmitir información, como videos, artículos, *podcast* e infografías.

Muchos de estos modelos de negocio se concentran en los cursos, siendo estos un modelo que facilita el aprendizaje en cortos periodos de tiempo; se ofrecen especialmente a empresas que requieran desarrollar en sus trabajadores determinadas habilidades blandas. Es de aclarar que en “otras” se agruparon soluciones de tipo: educación primaria, talleres, credencial digital y multioferta (figura 1).

Frente a este aspecto, se encontró que las soluciones existentes en el mercado se centran en mejorar la comunicación de los trabajadores, ya sea en un grupo de trabajo, frente a sus superiores directos o hacia un grupo de inversionistas, aunque no se dejan a un lado otro tipo de habilidades, como emprendimiento, liderazgo, intrapersonales, trabajo en equipo, motivación, inteligencia emocional, gestión del tiempo, resolución de problemas y pensamiento crítico.

Con base en el análisis de la información extraída de las soluciones identificadas en el mercado, se presenta la distribución de las soluciones a escala mundial agrupadas por categoría y su nivel de desarrollo, según la taxonomía de Bloom (figura 2). Allí se evidencia que en general las soluciones desarrollan hasta los niveles de aplicar y analizar, teniendo una gran falencia en los altos niveles, lo cual indica que sería una gran oportunidad desarrollar un modelo de negocio que logre al menos un nivel de evaluar o, de ser posible, un nivel de crear.

Este mismo análisis se realizó con la oferta colombiana. En la figura siguiente se pueden ver las soluciones nacionales distribuidas en los niveles de desarrollo en las que fueron asociadas, identificándose que ninguna llega a un nivel de desarrollo de crear y muy pocas logran un nivel de evaluar. Estas se concentran en un nivel de aplicar (figura 3).

DISCUSIÓN

Vale la pena destacar que los cursos son una solución con una gran aceptación en el mercado debido a su economía, su corto periodo de duración y la información específica que se va a tratar, siendo una solución para considerar por su alta variedad.

También se reconoce que las *apps* son un mercado importante para el desarrollo de habilidades blandas, pero la mayoría poseen la misma estrategia de producto, ya que estas se enfocan en publicar qué son las habilidades, qué importancia tienen y cómo fomentarlas,

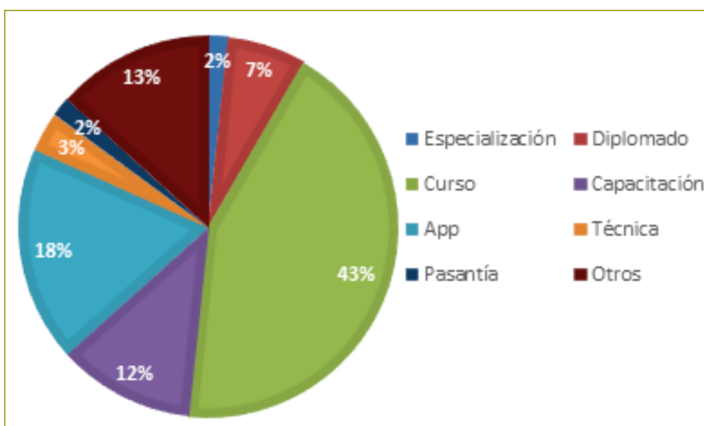


Figura 1. Tipos de soluciones existentes.

Fuente: Elaboración propia.

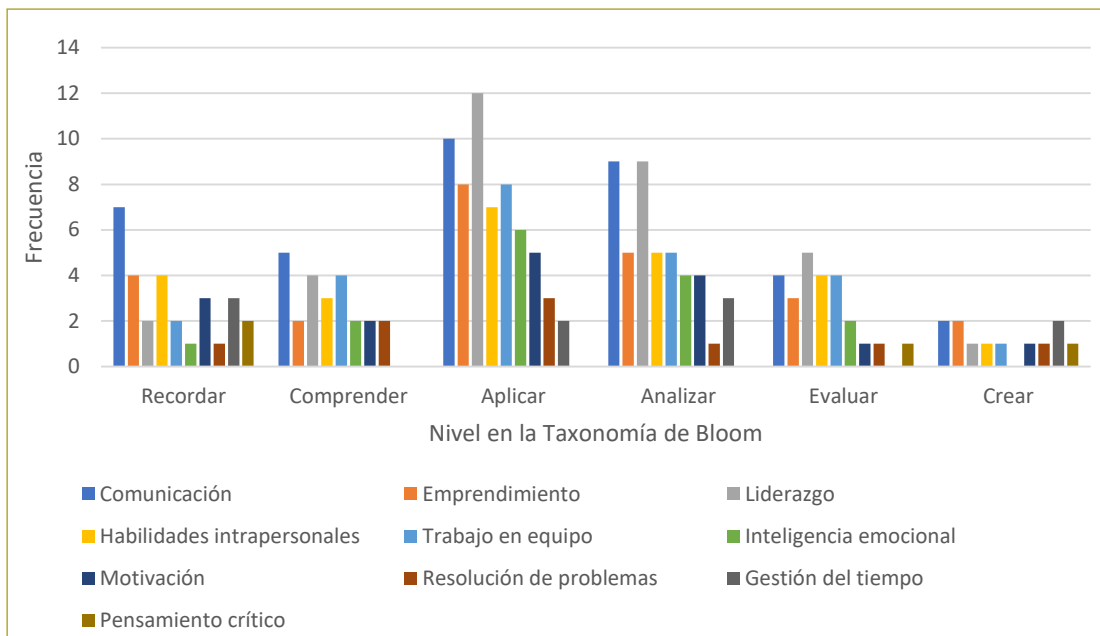


Figura 2. Resumen taxonomía de Bloom - soluciones mundiales. Fuente: Elaboración propia.

pero no ofrecen un acompañamiento profesional en el desarrollo de estas habilidades; la mayoría no requieren mayor tiempo de uso, por lo que después que el usuario ha terminado su lectura no es útil tenerlas aún en el dispositivo, ya que se estudió todo su contenido.

Una vez asociadas las habilidades que ofrecen desarrollar las soluciones con su respectiva categoría, se reconoce que las habilidades comunicativas son las que mayor frecuencia presentan; así se ofrecen 63 habilidades en total de esta categoría, emprendimiento con una frecuencia de 43 habilidades, liderazgo con una frecuencia de 40, habilidades intrapersonales con una

frecuencia de 36, trabajo en equipo con 25 habilidades, motivación e inteligencia emocional con 15 habilidades cada una, resolución de problemas con 9 habilidades, gestión del tiempo con 8 habilidades, y por último, pensamiento crítico con 4 habilidades.

CONCLUSIONES

Con el análisis de las soluciones se encuentra que habilidades como comunicación, emprendimiento, liderazgo, habilidades intrapersonales y trabajo en equipo son las que mayor frecuencia de desarrollo tienen en

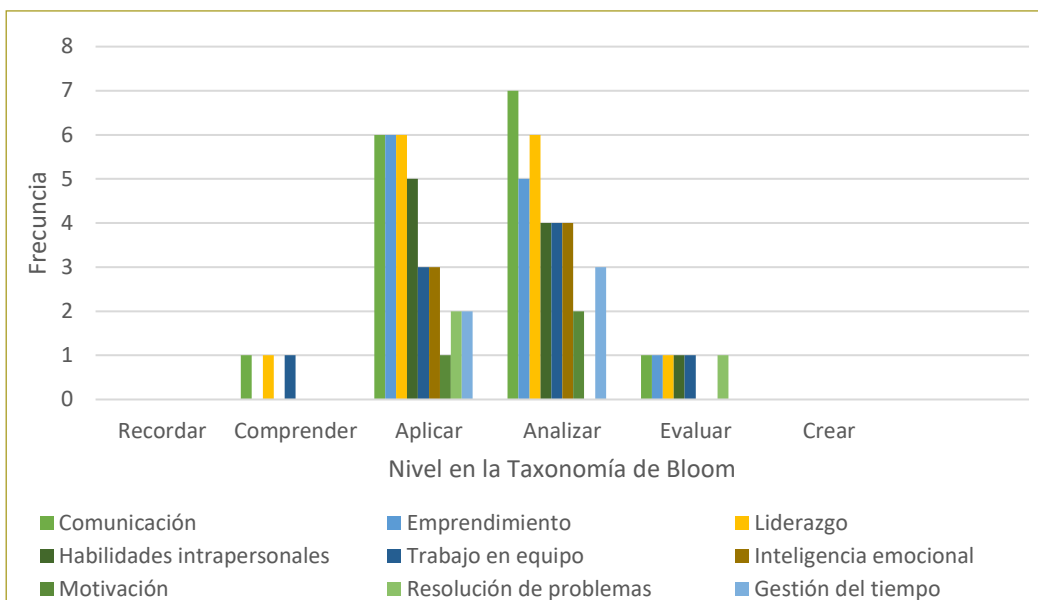


Figura 3. Resumen taxonomía de Bloom, Colombia. Fuente: Elaboración propia.

los productos o servicios identificados, pero no necesariamente significa que estas se generen en un nivel alto de desarrollo.

Existe una gran variedad de ofertas en el mercado, y a pesar de que no se abordaron todas las soluciones con las que se seleccionaron se encontró que pocas logran un alto nivel de desarrollo de las habilidades que ofrecen, y que están concentradas en los niveles de aplicar y analizar.

Es posible desarrollar los niveles altos de habilidades basados en la taxonomía de Bloom, aunque la mayoría de estos se logran cuando el estudiante consigue aplicar sus conocimientos adquiridos en el mundo real, como en el caso de las pasantías.

En su mayoría, las aplicaciones se concentran en niveles bajos de desarrollo, es decir, hasta el nivel de recordar.

Las soluciones se centran en desarrollar habilidades sociales, como comunicación y trabajo en equipo, pero pocas se encargan de desarrollar habilidades como gestión del tiempo, resolución de problemas o pensamiento crítico.

La mayoría de las soluciones encontradas ofrecen un desarrollo acorde con lo exigido por las empresas, pero se centran en un nivel medio de desarrollo.

Mediante una investigación realizada en paralelo, se encontró que las habilidades que requieren las empresas son la comunicación, liderazgo, habilidades interpersonales y trabajo en equipo, entre otras. Las soluciones que ofrecen desarrollarlas se concentran en niveles medios de desarrollo y, con poca frecuencia, el nivel máximo de desarrollo.

REFERENCIAS

Arancibia Carvajal, S., Donoso Pérez, M., Venegas Cabello, R., & Cárdenas Espinosa, C. (2015). Identificación de factores claves en la cultura de innovación. El caso de la mediana minería en Chile. *Journal of Technology Management & Innovation*, 10(1), 132-145. Recuperado el 30 de mayo de 2021, de <https://www.jotmi.org/index.php/GT/article/view/1635/959>.

Baena Paz, G. (2017). *Metodología de la investigación. Serie integral por competencias* (3.ª ed.). Azcapotzalco, Ciudad de México. México: Grupo Editorial Patria. Recuperado el 30 de abril de 2021, de http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf.

Bonilla Rada, A. R. (2020). *La importancia de la formación en habilidades blandas como estrategia de empoderamiento en las instituciones públicas*. Trabajo para optar por el título de Especialización en Alta Gerencia. Universidad Militar Nueva Granada,

Facultad de Estudios a Distancia, Bogotá. Recuperado el 28 de febrero de 2021, de <http://hdl.handle.net/10654/35152>

Campión, R. S. (2019). Conectando el modelo Flipped Learning y la teoría de las Inteligencias Múltiples a la luz de la taxonomía de Bloom. *Magíster*, 31(2), 45-54. Recuperado el 22 de abril de 2021, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7300770>.

Centro Interamericano para el Desarrollo del Conocimiento. (2020). *Competencias laborales*. Organización Internacional del Trabajo. Recuperado el 21 de abril de 2021, de http://cmap.upb.edu.co/rid=1133967433770_979963846_282/.

Chiavenato, I. (2007). *Administración de recursos humanos* (8.ª ed.). Bogotá, Colombia: McGraw Hill Internacional. Recuperado el 18 de febrero de 2021

García, N., Paca, N., Arista, S., Valdez, B., & Gómez, I. (2018). Investigación formativa en el desarrollo de habilidades comunicativas e investigativas. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(1), 125-136. Recuperado el 23 de mayo de 2021, de <http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v20n1/a12v20n1.pdf>.

Gardner, H., & Davis, K. (2014). La generación *app*. En H. Gardner & K. Davis, *La generación app. Cómo los jóvenes gestionan su identidad* (M. Asensio, trad., p. 20). Barcelona: Paidós. Recuperado el 11 de febrero de 2021, de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/49323403/LA_GENERACION_APP.pdf?1475519174=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DLA_GENERACION_APP.pdf&Expires=1613058550&Signature=M-DnKyZhNmj0-BflvZoGzrn-GKfDwBqBoZY12Rj3P4BS5hwxNo5VB31pgBnc-gjtTifG6C1to.

González Holguín, V., Ferreira Tavera, J., & Barranco López, A. (2018). Desarrollo de habilidades blandas y el uso del Sistema de Gestión del Aprendizaje en la elaboración de proyectos prácticos en una asignatura introductoria de Ingeniería Telemática. *Cuaderno de Pedagogía Universitaria*(29), 44-53. Recuperado el 21 de mayo de 2021, de <https://cuaderno.pucmm.edu.do/index.php/cuadernodepedagogia/article/view/299/276>.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. D. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). México, D.F. Delegación Álvaro Obregón. México: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V. Recuperado el 30 de abril de 2021, de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>.

Jiménez Becerra, I., Salamanca Espinosa, L. A., & López López, L. G. (2018). Implementación de entornos personales de aprendizaje para fortalecer las habilidades comunicativas. *Folios*(47), 119-132. Recuperado el 23 de mayo de 2021, de <http://www.scielo.org.co/pdf/fofolios/n47/0123-4870-fofolios-47-00119.pdf>.

Knowly (8 de julio de 2020). *EasyLMS*. Recuperado el 11 de febrero de 2021, de <https://www.easy-lms.com/es/centro-de-conocimiento/cursos/que-es-un-curso-online/item12708>.

López García, J. C. (21 de septiembre de 2002). *La taxonomía de Bloom y sus actualizaciones*. Recuperado el 21 de febrero de 2021, de Universidad Icesi - EduTEKA: <http://eduteka.icesi.edu.co/articulos/TaxonomiaBloomCuadro>.

ManpowerGroup (2019). *Se buscan personas: los robots las necesitan*. Investigación, ManpowerGroup. Recuperado el 4 de marzo de 2021, de https://www.manpowergroup.com.mx/wps/wcm/connect/manpowergroup/4b4e85e9-e77d-4226-8b1e-dc8eb968b5c5/MPG_WEF_SkillsRevolution_4.0_MX-b.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=.

Marrero Sánchez, O., Mohamed Amar, R., & Xifra Triadú, J. (2018). Habilidades blandas: necesarias para la formación integral del estudiante universitario. *Revista Científica Ecociencia*, 5, 1-18. Recuperado el 16 de mayo de 2021, de <http://3.14.189.95/index.php/ecociencia/article/view/144/111>.

- Maya, A. (3 de octubre de 2017). *Magisterio.com.co*. Obtenido de ¿Qué significa hacer un taller?: <https://www.magisterio.com.co/articulo/que-significa-hacer-un-taller>.
- MindTools. (2021). Recuperado el 24 de enero de 2021, de MindTools Web site: <https://www.mindtools.com/>.
- Mineducación (28 de diciembre de 1992). *Educación técnica profesional*. Recuperado el 11 de febrero de 2021, de Ley 30 de 1992. Artículo 17: <https://www.mineducacion.gov.co/1621/article-81294.html>.
- Mineducación (2012). *Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIES)*. Documento metodológico, Ministerio de Educación Nacional. Recuperado el 3 de marzo de 2021, de https://redes.colombiaaprende.edu.co/ntg/men/pdf/Documento_Metodologico_SNIES_2012.pdf.
- Mineducación (2021). *Niveles de la educación básica y media*. Obtenido de https://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-233834.html?_noredirect=1.
- Mira Agulló, J. G., Parra Meroño, M. C., & Beltrán Bueno, M. Á. (15 de junio de 2017). Educación emocional en la universidad: propuesta de actividades para el desarrollo de habilidades sociales y personales. *Vivat Academia. Revista de Comunicación*, 139, 1-17. doi:<http://doi.org/10.15178/va.2017.1-17>.
- Ortega Goodspeed, T. (2016). *Desenredando la conversación sobre habilidades blandas*. Banco de Desarrollo de América Latina. Washington, D.C.: El diálogo, liderazgo para las Américas. Recuperado el 11 de marzo de 2021, de <http://repositorio.minedu.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12799/4844/Desenredando%20la%20conversaci%c3%b3n%20sobre%20habilidades%20blandas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Ortega Santos, C., Febles Rodríguez, J., & Estrada Senti, V. (2016). Una estrategia para la formación de competencias blandas desde edades tempranas. *Revista Cubana de Educación Superior*, 35(2), 35-41. Recuperado el 9 de enero de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0257-43142016000200003
- Redacción Aprendemás (26 de octubre de 2015). *Aprendemas.com*. Recuperado el 11 de febrero de 2021, de <https://www.aprendemas.com/co/blog/orientacion-academica/los-diplomas-que-son-y-para-que-sirven-63538>.
- Rivadeneira León, F. (2006). *Comunicación organizacional. Cultura y gestión para el cambio* (1.ª ed.). Quito, Ecuador: Encuentros Ediciones Cie5pal. Recuperado el 4 de marzo de 2021, de <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/49430.pdf>.
- Rivera, J., Lay, N., Moreno, M. E., Pérez, A., Rocha, G., Parra, M., . . . Torres, E. (2019). Programa de entrenamiento para desarrollar habilidades sociales en estudiantes universitarios. *Espacios*, 40(31), 10. Recuperado el 22 de marzo de 2021, de <http://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/7334/Programa%20de%20entrenamiento%20para.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Rodríguez Siu, J. L., Rodríguez Salazar, R. E., & Fuerte Montaña, L. (2021). *Habilidades blandas y el desempeño docente en el nivel superior de la educación*. Universidad San Ignacio de Loyola, Vicerrectorado de Investigación. Propósitos y Representaciones. doi:<http://dx.doi.org/10.20511/pyr2021.v9n1.1038>.
- San Juan García, E. (20 de mayo de 2020). ¿Qué son las habilidades blandas y cuáles son las más solicitadas en el mercado laboral? (R. d. Inesem, Ed.) *Revista digital Inesem*. Recuperado el 10 de febrero de 2021, de <https://revistadigital.inesem.es/orientacion-laboral/habilidades-blandas/>.
- Toulouse Lautrec (2021). *Toulouse Lautrec*. Recuperado el 27 de enero de 2021, de Programa de Certificaciones: <https://certificaciones.toulouselautrec.edu.pe/>.
- Zepeda Hurtado, M. E., Cardoso Espinosa, E. O., & Cortés Ruiz, J. A. (julio - diciembre de 2019). El aprendizaje orientado en proyectos para el desarrollo de habilidades blandas en el nivel medio superior del IPN. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 10(19), 29. doi:<https://doi.org/10.23913/ride.v10i19.530>.
- Zisis, N., Moya, P., & Molina, F. (2017). Percepciones de académicos sobre las dificultades para el fomento de la innovación y el emprendimiento: el caso de la FCFM de la Universidad de Chile. *Journal of Technology Management & Innovation*, 12(4), 97-105. Recuperado el 30 de mayo de 2021, de <https://www.jotmi.org/index.php/GT/article/view/2538/1093>.

Modelación numérica de la capacidad portante de cimentaciones superficiales en suelos fisurados. Comparación con resultados experimentales

Numerical modeling of the bearing capacity of shallow foundations on fissured soils. Comparison with experimental results

CATALINA LOZADA LÓPEZ¹ - ANDRÉS CAMILO TORRES MAHECHA²

1. Profesora del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería.

2. Magíster en Ingeniería Civil de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería.

catalina.lozada@escuelaing.edu.co - andres.torres-ma@mail.escuelaing.edu.co

Recibido: 21/03/2023 Aceptado: 02/05/2023

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista

<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

En este artículo se analiza la capacidad portante de un suelo en condición saturada y parcialmente saturada en presencia de fisuras generadas por el fenómeno de desecación, por medio de modelos numéricos, empleando el programa de elementos finitos Plaxis 2D. Se implementan el modelo constitutivo Cam Clay modificado y el modelo constitutivo Mohr-Coulomb, utilizando el modelo Van Genuchten para el comportamiento del agua en el suelo.

Por otra parte, se determina la capacidad portante de manera analítica empleando la ecuación propuesta por Vanapalli y Mohamed (2007). A partir del trabajo de Lozada (2015), se tomaron los resultados de los modelos físicos a escala reducida elaborados por esta autora y se compararon con los que se obtuvieron en las modelaciones numéricas que se presentan en esta investigación.

Como resultado de esto, con el modelo Mohr-Coulomb sí se logró la tendencia esperada, es decir, el aumento de la capacidad portante con las fisuras de desecación, si bien cabe resaltar que dicha tendencia se sobrestimó. No sucedió lo mismo con el modelo Cam Clay modificado, por cuanto no se evidenció el aumento de la capacidad portante

debido a que este no presenta un acoplamiento total de la succión con el modelo constitutivo.

Lo anterior permite concluir que con el modelo Mohr-Coulomb se puede obtener un acoplamiento adecuado de la succión y la profundidad de la fisura. En cuanto al modelo analítico, sí se obtuvo la tendencia esperada, de una manera más cercana a lo previsto en la investigación de Lozada (2015).

Palabras claves: capacidad portante, fisuras de desecación, modelación numérica y física, cimentaciones superficiales.

Abstract

This article analyzes the bearing capacity of soil under saturated and partially saturated conditions in the presence of fissures generated by the phenomenon of desiccation, using numerical models with the finite element program Plaxis 2D. The modified Cam Clay constitutive model and the Mohr-Coulomb constitutive model are implemented, with the Van Genuchten model used for the soil water behavior.

In addition, the bearing capacity is determined analytically using the equation proposed by Vanapalli and Mohamed (2007). Based on the

work of Lozada (2015), the results of the physically scaled models developed by this author were compared with those obtained in the numerical simulations presented in this research.

As a result, the Mohr-Coulomb model did show the expected trend, i.e., an increase in bearing capacity with desiccation fissures, although it should be noted that this trend was overestimated. The same did not happen with the modified Cam Clay model, as an increase in bearing capacity was not evident, indicating a lack of complete coupling of suction with the constitutive model.

This leads to the conclusion that the Mohr-Coulomb model can achieve an appropriate coupling of suction and fissure depth. Regarding the analytical model, the expected trend was obtained, although it was closer to what was anticipated in Lozada's (2015) research.

Keywords: bearing capacity, desiccation fissures, physical and numerical modelling, shallow foundations.

INTRODUCCIÓN

La capacidad portante de las cimentaciones superficiales es un tema de gran importancia, debido a que es un factor determinante en la seguridad y estabilidad de cualquier estructura construida sobre el terreno. Se destaca en particular el efecto de las fisuras de desecación en la capacidad portante de las cimentaciones superficiales sobre suelos parcialmente saturados, fenómeno que ha sido objeto de numerosos estudios.

En consecuencia, la desecación genera variaciones en el contenido de humedad de los suelos arcillosos y produce cambios volumétricos, los cuales generan fisuras en los suelos (Ochoa Meza, 2012). Según Kodikara et al. (2000), estas fisuras se presentan durante el proceso de desecación cuando la resistencia a la tensión del suelo es superada por la resistencia a la tensión a causa de la succión matricial.

Se han observado grandes fisuras en países como México y Estados Unidos. En México se tienen reportes de fisuras en el municipio de Nextipac, con una fisura principal de 1073 m de longitud y un ancho máximo de 3,5 m. Igualmente, en el estado de Arizona (Estados Unidos), se han observado fisuras similares, con anchos de hasta 1 m, profundidades máximas de 3 m y longitudes de hasta 300 m (Lozada, 2016a). Estas fisuras aparecen después de periodos de lluvias intensas (Suárez-Plascencia et al., 2005).

De igual manera, en el norte y occidente de la sabana de Bogotá se han registrado fisuras de gran magnitud, estudiadas por Vesga et al. (2003). Losada (2016a) y Vesga et al. (2003) concluyeron teóricamente que las columnas formadas por las fisuras fallan por su propio

peso y producen grandes asentamientos. Esta primera falla genera esfuerzos cortantes entre las columnas y ocasiona una falla secuencial por corte entre las columnas del suelo.

Para comprobar estos mecanismos, Lozada et al. (2015) investigaron experimentalmente el comportamiento de suelos con fisuras, mediante la modelación física en centrífuga geotécnica. Se estudió la influencia de las fisuras en la capacidad portante de cimentaciones superficiales con un nivel freático impuesto.

Vale la pena destacar que el fenómeno de desecación puede presentarse por factores ambientales-climáticos, que consiste en la pérdida de humedad de los suelos más superficiales expuesta al ambiente. Los aspectos ambientales que más influyen en la pérdida de humedad del suelo son la radiación solar, la temperatura ambiente, la humedad relativa y la acción del viento, de acuerdo con Corte y Higashi (1964), Delage et al. (2005), Kodikara et al. (2000) y Wilson (1990).

La desecación se puede desarrollar también debido a acciones antrópicas que se realizan sobre determinado entorno, como la extracción de agua para las industrias y el crecimiento de la población (Lobo-Guerrero, 1992), pero ocurre además por otras acciones naturales. En los fenómenos de desecación anteriormente nombrados, la pérdida de humedad del suelo se produce por el abatimiento del nivel freático (Vesga et al., 2003).

Autores como Rayhani et al. (2008) afirmaron que dichas variaciones de las propiedades del suelo están relacionadas con el cambio físico al que este se ve sometido, ya que existe una alteración en la proporción de elementos como agua y aire, que ocupan los espacios vacíos de la estructura del suelo. Esto ocurre cuando la humedad del suelo aumenta o decrece.

Para el caso concreto del fenómeno de desecación, en el que existe una disminución en la humedad, las variaciones en propiedades del suelo se generan por la salida de agua y entrada de aire en los espacios vacíos de la estructura del suelo, provocando así una serie de esfuerzos de tracción y deformaciones en el interior de la masa de suelo, los cuales, en algunos casos, producen agrietamiento en la parte más superficial de este.

Los aportes de Lozada et al. (2015) y Vesga et al. (2003) sirvieron de base en el presente estudio, que tuvo como finalidad analizar el efecto de las fisuras de desecación en la capacidad portante de cimentaciones

superficiales para un suelo saturado y parcialmente saturado, utilizando modelación numérica con elementos finitos.

Para alcanzar este objetivo, se definió en primer lugar la configuración geométrica de la arcilla de la sabana de Bogotá que se implementará en los modelos numéricos. Luego se estableció la estructura de modelación para definir las etapas, fases y cantidad de modelos que hay que a desarrollar para estudiar el efecto de las fisuras de desecación. Seguidamente, se determinó el efecto de las fisuras por desecación en la capacidad portante de una cimentación superficial sobre un suelo saturado y un suelo no saturado. Y, por último, se compararon los resultados de los modelos numéricos con los resultados obtenidos por Lozada et al. (2015) a partir de la modelación en centrífuga geotécnica.

Desde el punto de vista metodológico, en la investigación se describió la revisión de los trabajos previos más relevantes en los que se estudió la incidencia de las fisuras de desecación en la capacidad portante de la arcilla blanda de la sabana de Bogotá, con el fin de identificar las principales características de las fisuras, las propiedades del suelo y el perfil geotécnico típico de esta arcilla. A continuación, se presentan las etapas de la metodología (figura 1).

En la **parte 1**, en los estudios asociados se determinaron las características del perfil estratigráfico del suelo y las características principales de las fisuras, donde se toma el trabajo de Lozada (2016b) como referencia. El autor realizó modelos a escala reducida en centrífuga geotécnica y simuló fisuras por desecación de la arcilla de la sabana de Bogotá y su incidencia en la capacidad portante en cimentaciones superficiales.

El perfil estratigráfico de los modelos numéricos guarda similitud con las dimensiones de los modelos a escala reducida, respetando las leyes de escala. Estos modelos se componen de una capa de arcilla sobreconsolidada, que sobreyace en una capa de arcilla normalmente consolidada (NC), y un nivel freático con una

altura de 9,25 m, medidos desde la base del modelo de Lozada et al. (2015), como se puede observar a renglón seguido (tabla 1).

Tabla 1
Dimensiones de los modelos

Modelo	Profundidad de la fisura (m)	Altura de suelo SC. (m)	Altura de suelo NC. (m)	Nivel freático (m)
C2	0	8,50	6,65	9,25
C1	3	8,15	8,15	9,25
C4	5	8,80	7,65	9,25
C6	6,5	8,85	8,1	9,25
C3	8	8,90	8,2	9,25

Fuente: Adaptado de Lozada (2016).

En la **parte 2**, se definió la geometría, es decir, el perfil estratigráfico, el nivel freático y las condiciones de frontera (desplazamientos y flujo de agua), con el fin de tener correspondencia con los prototipos de la tabla anterior (tabla 1), para poder comparar los resultados de los modelos a escala realizados por Lozada (2016) con los resultados de los modelos numéricos que se desarrollaron en el presente trabajo. Se escogieron cinco configuraciones geométricas “tipo” que se asemejan al perfil típico de la arcilla de la sabana de Bogotá. Más adelante, se puede apreciar la configuración del perfil estratigráfico (figura 2).

Teniendo semejanza entre el perfil estratigráfico de los modelos numéricos y los modelos físicos a escala reducida, es necesario definir el tipo de análisis. Esto se debe a que la geometría de la cimentación empleada en los modelos físicos a escala reducida fue circular (figura 3).

En la **parte 3**, referente a la creación del tipo de suelo, asignaron los parámetros para cada tipo de suelo, de acuerdo con los modelos constitutivos seleccionados. Para el modelo Cam Clay modificado (CCM), los pará-

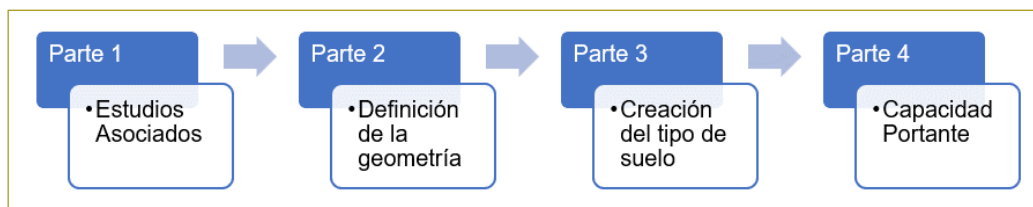
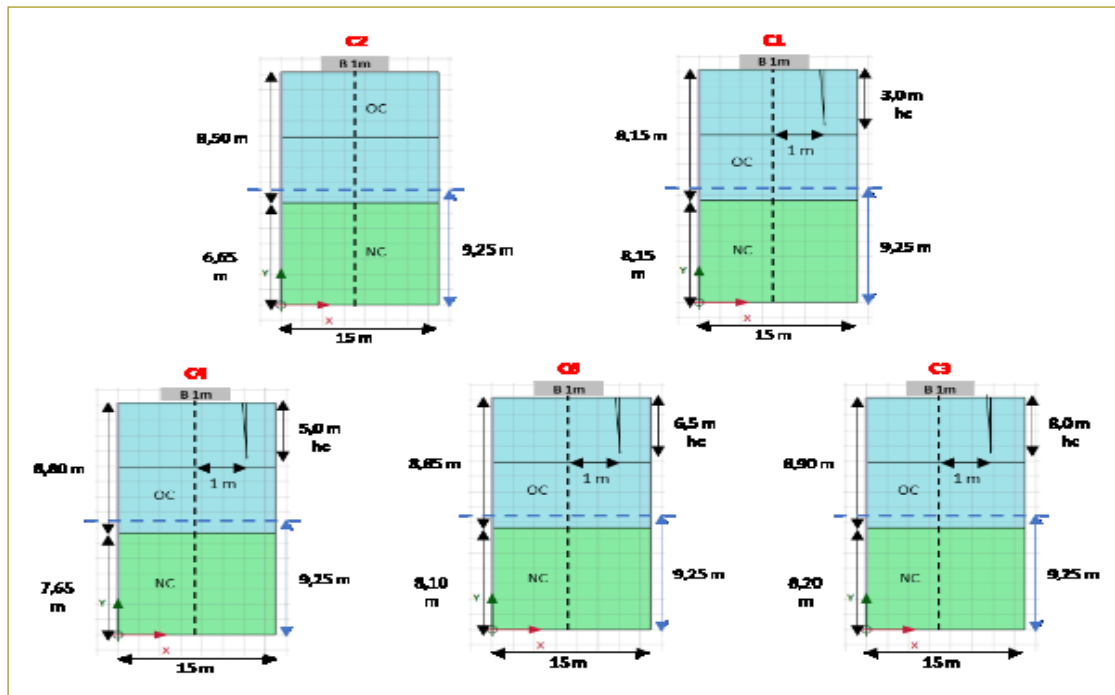


Figura 1. Metodología: etapas principales.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Configuración de la geometría para los modelos.

Fuente: Elaboración propia.



metros de entrada son índice de compresión, pendiente de la curva de carga-descarga, el factor de forma y la relación de Poisson. Para el modelo Mohr-Coulomb, los parámetros de entrada son la resistencia al corte y el módulo de Young.

En esta instancia, aparecen los modelos A y los modelos B, los cuales tienen como objeto obtener los parámetros adecuados del modelo constitutivo y propiedades índice, respectivamente. Dichas etapas se presentan a continuación: a) Parámetros del modelo constitutivo: modelos 1, 2 y 3; b) Propiedades base del suelo: modelos 4 al 62.

- a. **Parámetros del modelo constitutivo.** Los primeros tres modelos realizados en esta etapa tienen como objetivo principal definir los parámetros del modelo constitutivo Cam Clay modificado. Para esto se hicieron diversos modelos numéricos, en los cuales se utilizaron diferentes parámetros del modelo, según la propuesta de varios autores.
- b. **Propiedades base del suelo.** Modelos 4 al 62. Para determinar algunas de las propiedades índice del suelo, como el peso saturado, el peso seco y la relación de vacíos, se generaron 58 modelos numéricos (modelos del 4 al 62), los cuales consistieron en ajustar la humedad inicial del suelo, con el propósito de obtener similitud entre la humedad final del modelo físico y la humedad del modelo numérico al final de la consolidación.

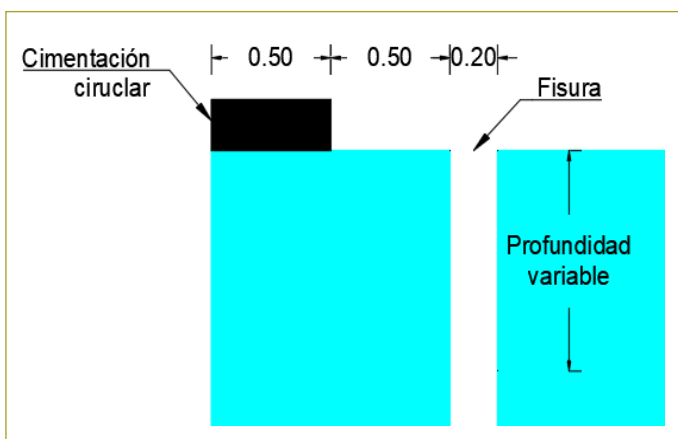


Figura 3. Ubicación de la fisura con respecto a la cimentación.

Fuente: Elaboración propia.

En la **parte 4**, capacidad portante, o etapa de carga, esta se realiza de conformidad con los parámetros del modelo constitutivo y las propiedades básicas definidas en los modelos nombrados anteriormente. Para este caso, se emplean dos modelos constitutivos del programa Plaxis 2D: modelo Cam Clay modificado y modelo Mohr-Coulomb.

Con el modelo constitutivo Cam Clay modificado, se hicieron una serie de modelaciones numéricas divi-

didadas, según la condición de geometría y condición de saturación. Seguidamente, se registran el número de modelo, la condición de saturación y la presencia o no de la fisura (tabla 2).

Tabla 2

Etapas de modelación con el modelo Cam Clay modificado

Modelo numérico	Condición de saturación	Fisura
63 a 67	Saturada	Sin presencia
68 a 72	Saturada	Con presencia
73 a 77	Parcialmente saturada	Sin presencia
78 a 82	Parcialmente saturada	Con presencia

Con el modelo Mohr-Coulomb, se determinaron los siguientes diez modelos numéricos, los cuales, del modelo 83 al modelo 87, se realizan con fisura en su geometría y en condición saturada, y del modelo 88 al modelo 92, con presencia de fisuras y en una condición parcialmente saturada. Los parámetros empleados en este modelo se tomaron a partir de los modelos físicos a escala reducida.

RESULTADOS

En la definición de la geometría, es necesario emplear un análisis con simetría axial para los modelos numéricos. Para la discretización del medio se toman elementos de quince nodos, ya que son recomendables para el análisis de simetría axial y generan cálculos de mayor precisión en comparación con elementos de seis nodos. A continuación se ilustran los elementos seleccionados, Plaxis 2D Reference Manual (2020) (figura 4).

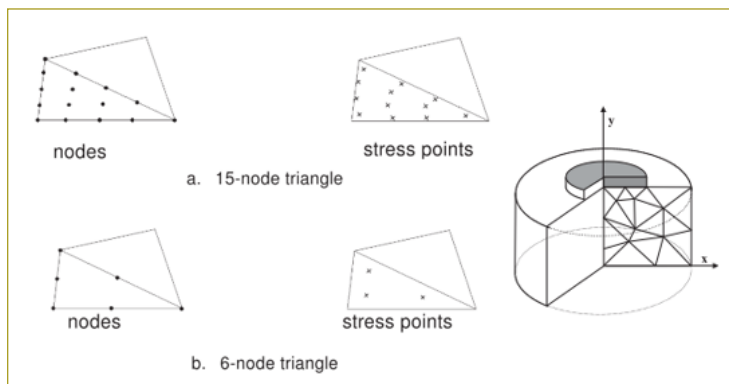


Figura 4. Configuración de nodos y tipo de simetría.

Fuente: Tomado de Plaxis 2D.

En relación con las condiciones de desplazamiento, se impone restricción perpendicular en los bordes laterales; el borde inferior se fija en forma total, y con respecto al borde superior se deja sin ninguna restricción (figura 5, parte A). En lo referente a las condiciones de flujo, dado que en los modelos físicos a escala reducida se tiene un nivel freático constante, en los modelos numéricos se configuran las condiciones de frontera para mantener el nivel freático constante, por lo cual es necesario impedir el flujo a través de los límites del modelo numérico, asignando una condición cerrada (figura 5, parte B).

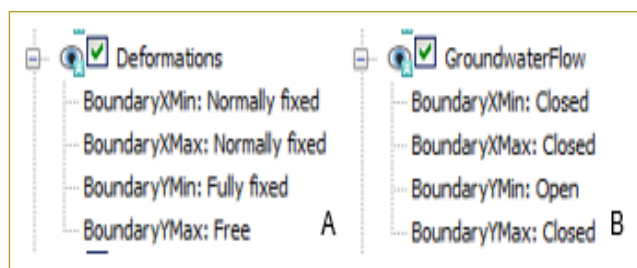


Figura 5. Condiciones de frontera: A) Desplazamiento. B) Flujo de agua.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez definidos la geometría, el tipo de análisis y las condiciones de frontera, se procedió a realizar la discretización del medio (figura 6).

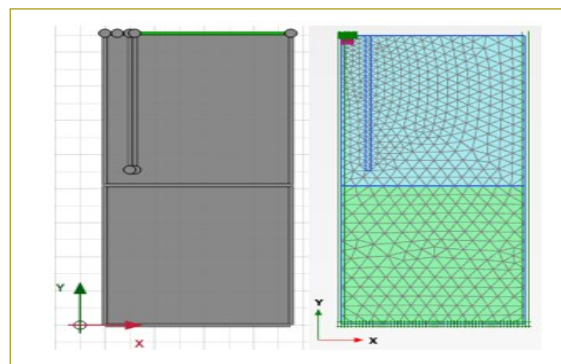


Figura 6. Geometría del modelo C3 y discretización del medio.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la parte 3, creación de los suelos, se determinaron los parámetros del modelo constitutivo Cam Clay modificado y para establecer las propiedades del suelo: la relación de vacíos, peso unitario seco y peso unitario saturado.

Por otra parte, la selección de los parámetros del modelo Cam Clay modificado se hizo con base en

una revisión bibliográfica. Para la arcilla normalmente consolidada se tuvieron en cuenta los autores listados en la tabla siguiente (tabla 3).

Tabla 3

Parámetros del modelo Cam Clay modificado para arcilla NC

Modelo numérico	Autor	Parámetros CCM - Slurry			
		v	λ	k	M
1	Cao et al. (2003)	0,30	0,260	0,020	0,900
2	Viggiani (1992)	0,30	0,151	0,034	0,800
3	Cao et al. (2002)	0,30	0,260	0,050	0,900

Para la arcilla sobreconsolidada se adoptan los parámetros empleados por Stallebrass (1990), los cuales se listan seguidamente (tabla 4).

Tabla 4

Parámetros CCM para arcilla SC

Autor	Parámetros CCM - Arcilla SC			
	v	λ	k	M
Stallebrass 1990	0,30	0,073	0,005	0,89

En el proceso de selección de parámetros del modelo Cam Clay modificado, se toma un nodo en la superficie (nodo A) de la geometría de los modelos para medir el asentamiento del perfil estratigráfico al final de la etapa de consolidación; la localización de este nodo de control se ilustra a continuación (figura 7).

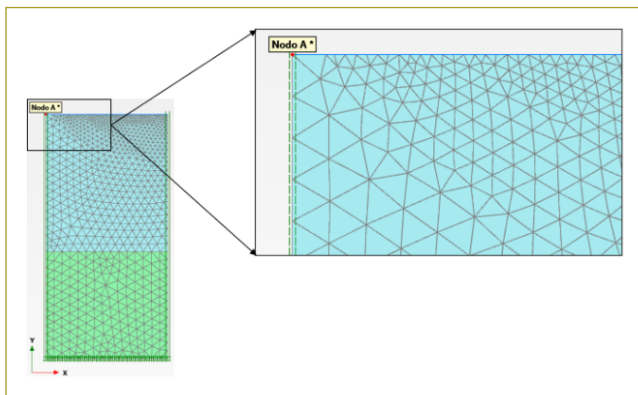


Figura 7. Punto de control de asentamiento.

Fuente: Elaboración propia.

La etapa de consolidación se generó por peso propio, etapa que se realizó como una etapa constructiva, y durante el tiempo de duración se mantuvo constante el nivel freático. El tiempo total de la etapa de consolidación corresponde al modelo físico a escala reducida, el cual es de 555,2 días (escala prototipo). Esta etapa de consolidación se realizó inmediatamente después de generar los estados de esfuerzos iniciales del perfil estratigráfico del suelo.

Con los parámetros determinados del modelo constitutivo se procede a obtener las propiedades base del suelo: relación de vacíos y peso unitario, por lo que, de los modelos físicos a escala reducida presentados en la investigación de Lozada (2016), se tiene la humedad al final del proceso de consolidación. En esta etapa, la consolidación de los modelos numéricos se hizo sin existencia de fisura, dado que la columna generada por la fisura falla antes de terminar el proceso de consolidación y no logra continuar a la etapa de capacidad portante.

En la tabla siguiente (tabla 5) se resumen las propiedades iniciales y finales de cada modelo físico a escala reducida, así como de los modelos numéricos y la diferencia obtenida en el asentamiento total. Dado que se busca que la humedad final después del proceso de consolidación de los modelos numéricos tenga una magnitud similar a la humedad final de los modelos físicos, la humedad inicial se varió, empezando con el valor de humedad inicial reportado por Lozada (2016), y se varió hasta un valor de humedad inicial tal que se obtuviera la humedad esperada al final del proceso de consolidación. En dicha tabla se listan los valores iniciales de humedad de los modelos numéricos, con los que se obtiene una humedad final similar a la de los modelos físicos.

Al final de la etapa de consolidación de los modelos numéricos realizados se obtienen la humedad final y el asentamiento total, magnitudes que se presentan más adelante (figura 8). Por otro lado, se determinó la capacidad portante empleando el programa Plaxis 2D, con el modelo constitutivo Cam Clay modificado y el modelo Mohr-Coulomb; de igual manera, se obtiene la capacidad portante de manera analítica propuesta por Vanapalli y Mohamed (2007) y utilizada por Lozada et al. (2018).

Tabla 5

Comparación de parámetros entre el modelo físico y el modelo numérico. Arcilla normalmente consolidada

Modelo		Propiedades iniciales			Propiedades finales			Asentamiento total (m)
		w%	e	γ_{sat} kN/m ³	w%	e	γ_{sat} kN/m ³	
C2	Físico	26,13	0,69	28,95	44,00	1,18	17,50	0,33
	Numérico	47,00	1,25	17,02	44,44	1,18	17,25	0,24
C1	Físico	40,65	1,08	17,78	44,70	1,18	17,70	0,28
	Numérico	47,00	1,25	17,02	44,92	1,20	17,21	0,23
C4	Físico	35,57	0,94	24,65	42,40	1,12	17,30	0,27
	Numérico	45,00	1,19	17,19	42,56	1,13	17,42	0,25
C6	Físico	40,28	1,07	23,18	42,00	1,11	17,56	0,34
	Numérico	44,00	1,17	17,28	41,77	1,11	17,50	0,23
C3	Físico	40,89	1,08	23,00	42,80	1,13	17,50	0,24
	Numérico	45,00	1,19	17,19	42,65	1,13	17,42	0,25

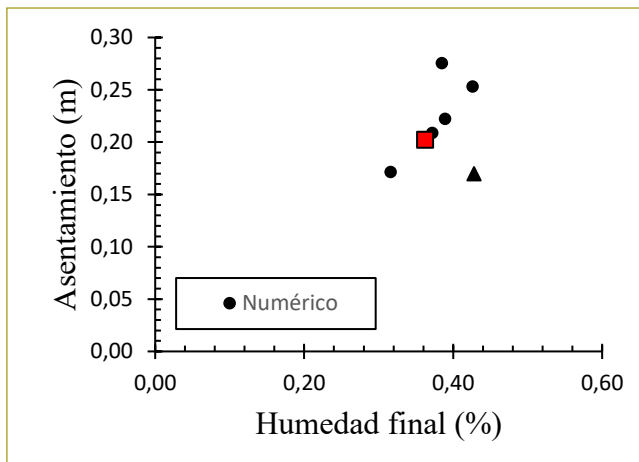


Figura 8. Modelo C3. Etapa de calibración. E0-F2.

Fuente: Elaboración propia.

Empleando los parámetros del modelo constitutivo Cam Clay modificado, de los tres primeros modelos, y las propiedades base del suelo presentados de los siguientes 58 modelos numéricos, se procede a determinar la capacidad portante. Para esto se analiza primero un perfil de suelo, el cual no presenta fisuras; posteriormente, se determina la capacidad portante para un perfil de suelo que tiene fisuras con diferentes profundidades (tabla 6).

Para la condición saturada se realizan los modelos numéricos desde el 62 hasta el 67, y para la condición parcialmente saturada se hacen los modelos numéricos 73 hasta el 77. Para estos últimos modelos se ingresan los parámetros del modelo Van Genuchten, los cuales se presentan a continuación:

- Contenido de humedad residual (θ): 0,026.
- Contenido de humedad saturada (θ): 1,0.
- Inverso del valor de entrada de aire (α): 0,004.
- Parámetro de ajuste empírico (n): 6,0.

Antes de determinar la capacidad portante en cada modelo, se tiene una etapa de precarga para generar un perfil sobreconsolidado. Esta etapa de precarga se realiza con una línea de carga (σ) uniformemente distribuida. A continuación se presenta un perfil de relación de sobreconsolidación al momento de hacer la precarga (figura 9, parte a), y luego de retirar la precarga se obtiene el perfil del suelo sobreconsolidado (figura 9, parte b).

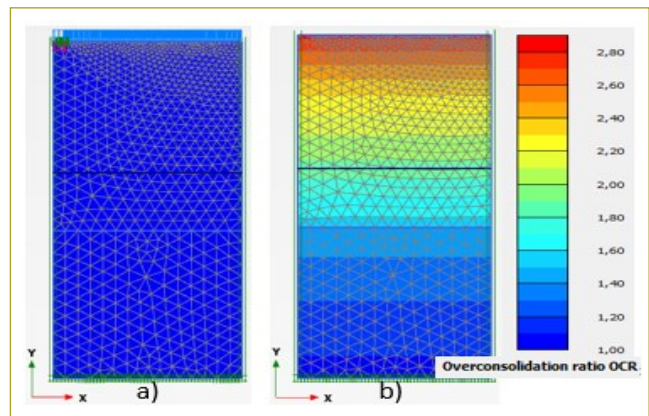


Figura 9. Perfil de relación de sobreconsolidación. a) Perfil normalmente consolidado. b) Perfil sobreconsolidado.

Fuente: Elaboración propia.

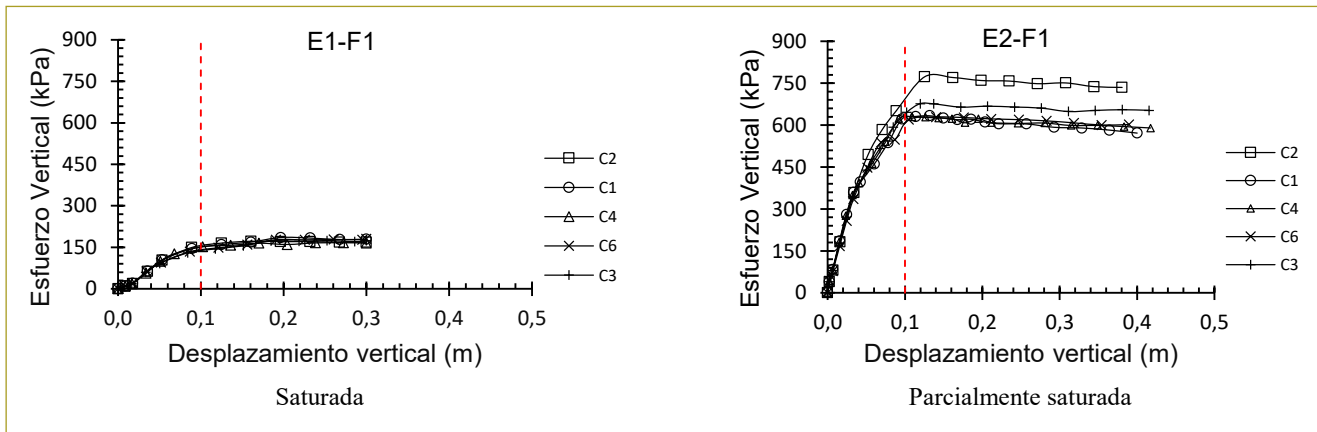


Figura 10. Capacidad portante del modelo Cam Clay modificado (perfil de suelo sin fisuras).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura se puede apreciar la curva desplazamiento vs. esfuerzo vertical obtenida de la línea de desplazamiento descrita con anterioridad, para cada condición de saturación. Es importante anotar que la capacidad portante en condición parcialmente saturada es mayor en comparación con la condición saturada (figura 10).

Después de tener el perfil de suelo sobreconsolidado, generar la fisura y finalizar la etapa de carga se obtienen los resultados de la figura siguiente, en la que se muestra el desplazamiento versus el esfuerzo vertical para cada condición de saturación (figura 11).

En los resultados obtenidos con los modelos numéricos se observa una reducción de la capacidad portante para todos los modelos con presencia de fisuras (figura 11). En el modelo Mohr-Coulomb se requieren la resistencia al corte no drenada S_u (kN/m^2) y el módulo de Young E (kN/m^2), parámetros que se tomaron a

partir de los modelos físicos. Para tener en cuenta el efecto de la succión en la resistencia al corte no drenada S_{uunsat} , se emplea la ecuación 1, propuesta por Vanapalli y Mohamed (2006). Esta ecuación está en función de la resistencia al corte no drenada S_u , la succión ($U_a - U_w$) * y el ángulo de fricción ϕ^b .

$$S_{uunsat} = S_u + (U_a - U_w) * \tan\phi^b$$

Ecuación 1. Resistencia al corte no drenada no saturada (Vanapalli y Mohamed, 2006).

La resistencia al corte no drenada S_u se obtiene con la ecuación 2 propuesta por Garnier (2001), la cual está en función de la resistencia por punta (q_{tip}) del ensayo CPT. La resistencia por punta se toma del modelo a escala reducida saturado (modelo cubierto) realizado por Lozada et al. (2018).

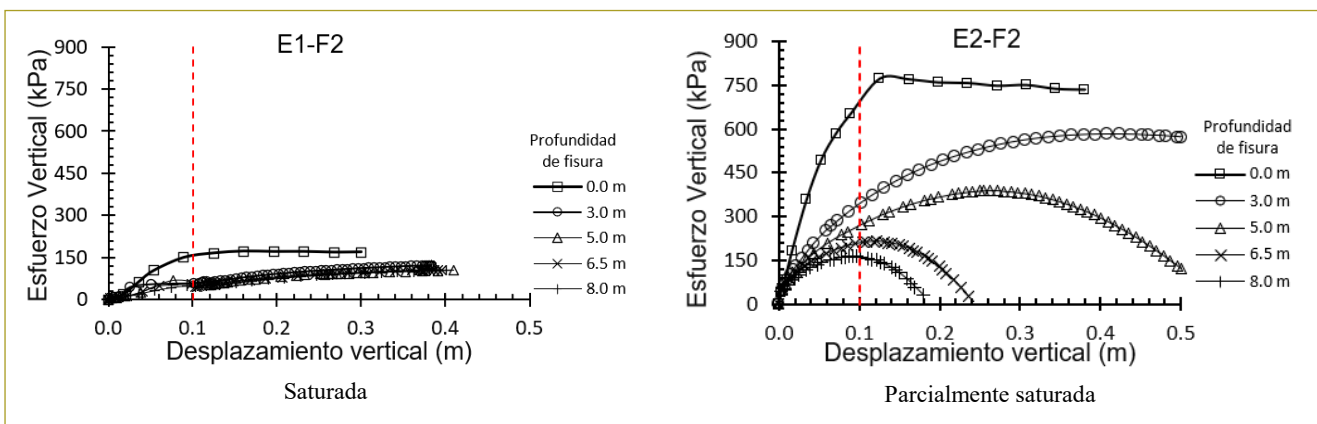


Figura 11. Capacidad portante del modelo Cam Clay modificado (con fisuras).

Fuente: Elaboración propia.

$$S_{u\text{ CPT}} = q_{\text{tip}}/18,5$$

Ecuación 2. Resistencia al corte saturada no drenada (Garnier, (2001).

Para la succión $U_a - U_w$ y ϕ^b , se tiene en cuenta el perfil de resistencia al corte y succión presentado por Lozada (2016). Este perfil se divide en tres zonas principales y de cada zona se obtiene un valor de succión y un valor de ϕ^b representativo, para así conseguir mayor similitud entre el perfil de suelo de los modelos numéricos y los modelos físicos a escala reducida, zonas que se muestran a continuación (figura 12).

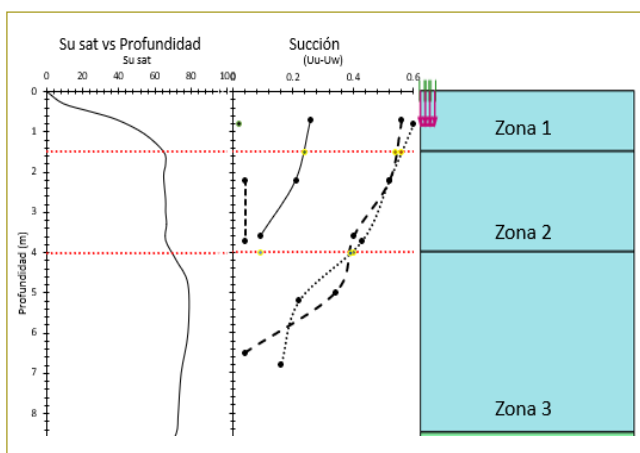


Figura 12. Perfil de cohesión y succión. Fuente: Adaptado de Lozada (2016).

El módulo de Young E (kN/m^2) se calculó empleando la ecuación 3 de la teoría de elasticidad (Won Taek Oh y Vanapalli, 2008). En esta ecuación, el módulo de Young está en función del valor del asentamiento ($\Delta\delta$) y del esfuerzo vertical (Δq_p). Estos valores se tomaron de las curvas de desplazamiento vs. esfuerzo vertical presentados por Lozada (2016) en su investigación.

$$E = \frac{1,5 \times B_p}{(\Delta\delta / \Delta q_p)}$$

Ecuación 3. Módulo de Young (Won Taek Oh y Vanapalli, 2008).

Para determinar el módulo de Young, a manera de ejemplo se presenta la figura siguiente, que corresponde al modelo físico de escala reducida C6 (figura 13).

Para el modelo analítico se emplea la ecuación 4, propuesta por Vanapalli y Mohamed (2007) y empleada

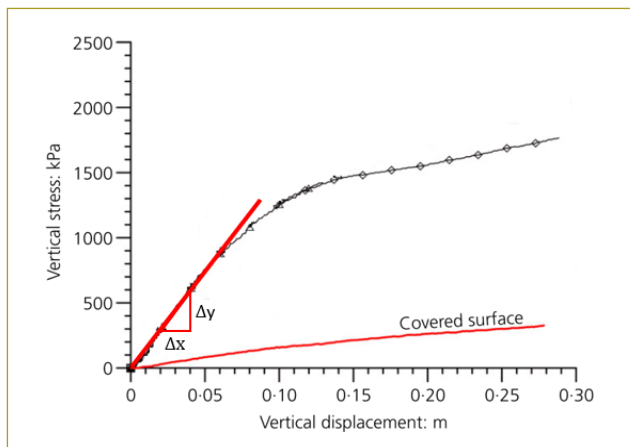


Figura 13. Curva de desplazamiento vs. Esfuerzo vertical. Fuente: Adaptado de Lozada (2016).

por Lozada et al. (2018). Esta ecuación se basa en la ampliación de la teoría de la capacidad portante propuesta por Terzaghi, y se contemplan las condiciones parcialmente saturadas, agregando un término para incluir el efecto de la succión matricial (Vanapalli y Mohamed, 2007).

La capacidad portante de la ecuación 4 es función de la resistencia al corte no drenada obtenida mediante el ensayo de penetración de cono, de la succión, de ϕ^b , y del factor adimensional de capacidad de carga, N_c .

$$q_u = (S_{u\text{ CPT}} + (u_a - u_w)_f \tan\phi^b) N_c$$

Ecuación 4. Capacidad portante, extendida a condiciones parcialmente saturadas (Vanapalli y Mohamed, 2007).

Con los datos mencionados anteriormente e implementando la ecuación 4, se obtienen los resultados resumidos a renglón seguido (figura 14).

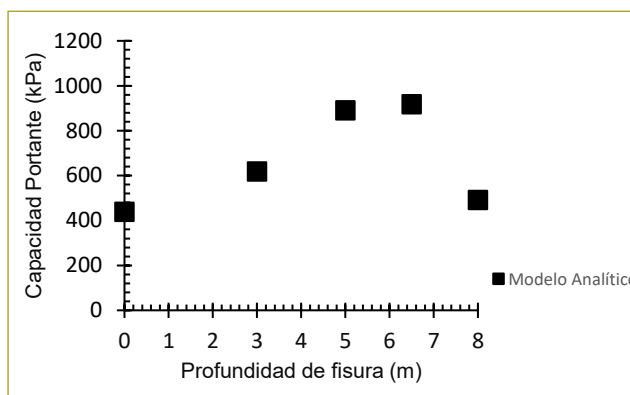


Figura 14. Capacidad portante del método analítico. Fuente: Elaboración propia.

A renglón seguido se puede apreciar la capacidad portante para un perfil de suelo sin existencia de fisuras en condición saturada y parcialmente saturada, empleando el modelo constitutivo Cam Clay modificado y el modelo Mohr-Coulomb. Así mismo, se calculó la capacidad portante de manera analítica, utilizando el método propuesto por Vanapalli y Mohamed (2007) (figura 15).

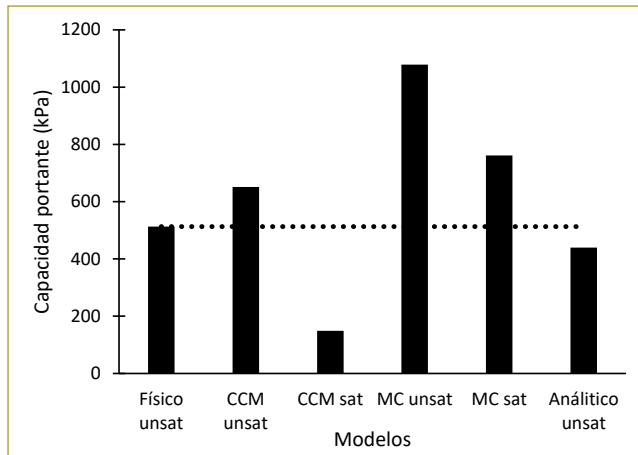


Figura 15. Capacidad portante de los modelos sin fisura. Fuente: Elaboración propia.

Para una condición saturada se determina la capacidad portante con existencia de fisuras en el perfil de suelo (figura 16). Se puede observar que la mayor capacidad portante se obtiene en los modelos sin presencia de fisuras, y no se evidencian efecto alguno de las fisuras en la capacidad portante ni variación apreciable en función de la profundidad de la fisura. Con el modelo constitutivo Mohr-Coulomb, se obtiene la mayor capacidad portante con respecto al modelo Cam Clay modificado.

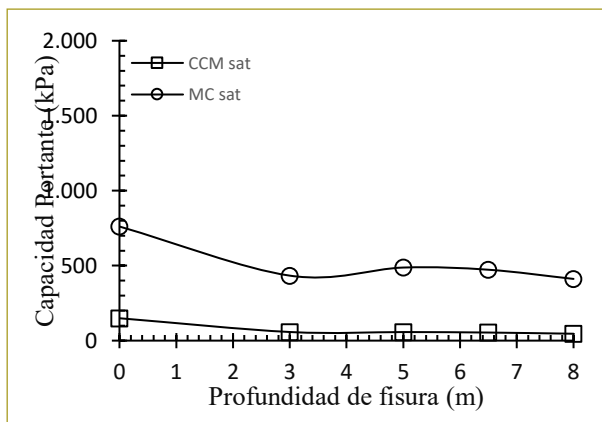


Figura 16. Capacidad portante, modelos con fisura condición saturada (Vanapalli y Mohamed, 2007). Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para comparar los resultados de los modelos numéricos con los datos de capacidad portante publicados en la investigación realizada por Lozada et al. (2015) se presentan los resultados obtenidos mediante modelación numérica empleando los modelos constitutivos Cam Clay modificado (CCM) y Mohr-Coulomb (MC), así como los resultados obtenidos mediante el método analítico propuesto por Vanapalli y Mohamed (2007) (figura 17).

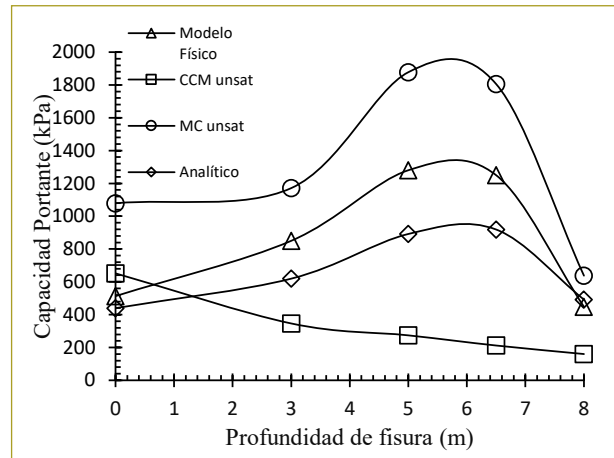


Figura 17. Capacidad portante de los modelos con fisura condición parcialmente saturada. Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que la tendencia esperada se obtuvo con el modelo constitutivo Mohr-Coulomb y con el método analítico propuesto por Vanapalli y Mohamed (2007), mientras que la tendencia con el modelo Cam Clay modificado fue diferente de la esperada. Esto se debe a que en el modelo MC y el método analítico se tuvo en cuenta la variación de la succión por efecto de la desecación en la profundidad de las fisuras, en tanto que con el modelo CCM esta variación de la succión no se presentó en los modelos numéricos, dado que Plaxis no acopla el efecto de la evaporación y la profundidad de las fisuras con la succión, por lo cual no se tiene variación de la succión en los modelos numéricos con el modelo constitutivo Cam Clay modificado.

Además de evaluar la influencia de las fisuras en la capacidad portante, Lozada et al. (2015) describen en su investigación tres mecanismos de falla que pueden explicar los resultados obtenidos en la capacidad portante:

- **Falla A**, que corresponde a una falla de una cimentación superficial.

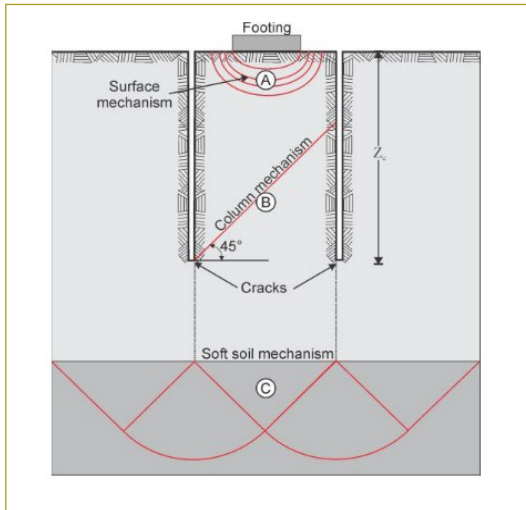


Figura 18. Mecanismos de falla.

Fuente: Tomado de Lozada et al. (2015).

- **Falla B**, que corresponde a una falla por corte de columna.
- **Falla C**, la cual corresponde a una falla por suelo blando (figura 18).

Para validar estos mecanismos de falla, hay que hacer un análisis de los desplazamientos totales generados en todos los modelos numéricos. Con el modelo Cam Clay modificado se observa que los desplazamientos totales se concentran en función de la condición de saturación en la que sea analizada, por lo cual se tiene una concentración de desplazamientos en la parte superior de la columna (figura 19, parte a), siendo un indicador de falla tipo A de acuerdo con lo propuesto por Lozada (figura 18), y para una condición parcialmente saturada el tipo de falla puede ser B, ya que los desplazamientos se concentran hacia la parte inferior de la columna (figura 19, parte b). Este comportamiento es igual en los demás modelos, con diferentes profundidades de fisura.

CONCLUSIONES

En los resultados se evidenció el aumento de la capacidad portante de cimentaciones superficiales para un suelo parcialmente saturado por las fisuras de desecación, debido a la succión, como se demostró en la investigación realizada por Lozada et al. (2015).

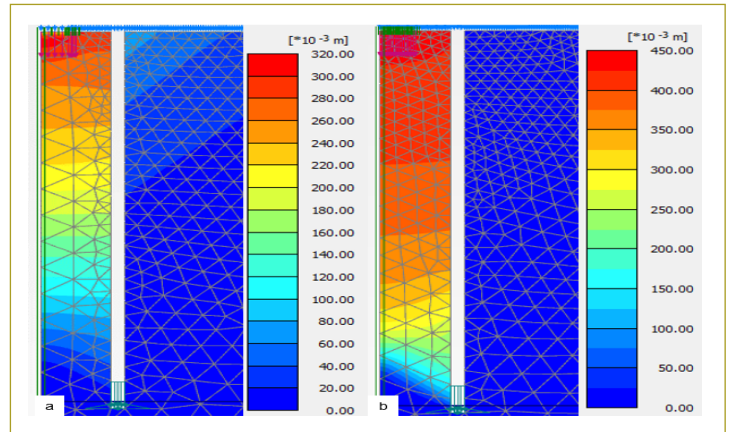


Figura 19. Desplazamientos totales, modelo CCM. a) Condición saturada. b) Condición parcialmente saturada. Modelo con profundidad de fisura 8,0 m.

Fuente: Elaboración propia.

- Para los modelos sin fisura, el modelo constitutivo Cam Clay modificado tiene una mayor sensibilidad al considerar el parámetro de la succión en comparación con el modelo Mohr-Coulomb. La succión aumenta la capacidad portante en un 515 % para el modelo Cam Clay modificado, y para el modelo Mohr-Coulomb este aumento es del 30 %.
- La capacidad portante obtenida con el modelo Mohr-Coulomb está sobrestimada. Esto se puede deber a que los parámetros se tomaron indirectamente de los modelos físicos a escala reducida. En la investigación realizada por Lozada et al. (2015), se menciona que estos valores se pueden sobrestimar bien sea por condiciones de frontera o por que se tomaron después del ensayo de capacidad portante.
- La capacidad portante más conservadora se consiguió con el método analítico propuesto por Vanapalli y Mohamed (2007). Este método tiene una menor diferencia con respecto a los ensayos a escala reducida.
- La tendencia de la capacidad portante versus la profundidad de la fisura con el modelo Mohr-Coulomb y el método analítico es la esperada con respecto a la tendencia presentada en los modelos físicos a escala reducida. Esto se debe a que se consideró la variación de la succión con la profundidad de las fisuras en los diferentes modelos.
- No se presenta la tendencia esperada con el modelo constitutivo Cam Clay modificado, ya que este no presenta un acoplamiento total de la succión y la evaporación con la profundidad de la fisura, por lo

cual se tiene una succión constante, independientemente de la profundidad de la fisura.

- El mecanismo de falla por cimentación superficial (falla tipo A) que propusieron Lozada et al. (2015) ocurre para el modelo Cam Clay modificado en un análisis de condición saturada y también se presenta con el modelo Mohr-Coulomb, pero con este último se obtiene tanto en la condición saturada como en condición parcialmente saturada. La falla por columna (falla tipo B) ocurre con el modelo Cam Clay modificado, en una condición parcialmente saturada.

REFERENCIAS

- Corte, A. & Higashi, A. (1964). Experimental research on desiccation cracks in soils. In *CRREL Research Report* (p. 72). <http://trid.trb.org/view.aspx?id=136592>
- Delage, P., Riffard, M., Lu, Y. F., & Cui, Y. J. (2005). Field simulation of in situ water content and temperature changes due to ground-atmospheric interactions. *Géotechnique*, 55(7), 557–567. <https://doi.org/10.1680/geot.2005.55.7.557>
- Garnier, J. (2001). *Modèles physiques en géotechnique. I- Evolution des techniques expérimentales et des domaines d'application*.
- Kodikara, J., Barbour, S. L., & Fredlund, D. G. (1998). An idealized framework for the analysis of cohesive soils undergoing desiccation: Discussion. *Canadian Geotechnical Journal*, 35(6), 1112–1114. <https://doi.org/10.1139/cgj-35-6-1112>
- Lobo-Guerrero, A. (1992). Geología e Hidrogeología de Santafé de Bogotá y su sabana. *VII Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería de Colombia*, 1–20. http://www.logemin.com/eng/Download/pdf/16_Geologia_hidrogeologia_Sabana_Bogota.pdf
- Lozada, C. (2016a). *Study of the soil atmosphere interaction and bearing capacity of a soil under desiccation*.
- Lozada, C. (2016b). *Study of the soil atmosphere interaction and bearing capacity of a soil under desiccation*.
- Lozada, C., Caicedo, B., & Thorel, L. (2015). Effects of cracks and desiccation on the bearing capacity of soil deposits. *Géotechnique Letters*, 5(3), 112–117. <https://doi.org/10.1680/jgele.15.00021>
- Lozada, C., Thorel, L., & Caicedo, B. (2018). Bearing capacity of circular footings resting on unsaturated desiccated soils. *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics*, 19(3), 154–166. <https://doi.org/10.1680/jphmg.17.00060>
- Ochoa Meza, V. E. (2012). Suelos parcialmente saturados: de la investigación a la cátedra universitaria. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 31, 23–38. <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/31251/43362>
- Oh, W. T., & Vanapalli, S. K. (2018). Modelling the stress versus settlement behavior of model footings in saturated and unsaturated sandy soils. *Soils and Foundations*, 58(2), 382–397.
- Plaxis 2D Reference Manual (2020).
- Rayhani, M. H. T., Yanful, E. K., & Fakher, A. (2008). Physical modeling of desiccation cracking in plastic soils. *Engineering Geology*, 97(1–2), 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2007.11.003>
- Stallebrass, S. E. (1990). Modelling the effect of recent stress history on the deformation of overconsolidated soils. *City University London*, 34(4), 51–79.
- Suárez-Plascencia, C., Escalona-Alcázar, F. D. J., & Díaz-Torres, J. D. J. (2005). Desarrollo de grietas en el fraccionamiento Prados de Nextipac, municipio de Zapopán, Jalisco. *GEOS*, 25(2), 352–362.
- Vanapalli, S. K., & Mohamed, F. M. O. (2013). Bearing capacity and settlement of footings in unsaturated sands. *Int. J. GEOMATE*, 5(1), 595–604. <https://doi.org/10.1016/j.geotextmem.2003.12.002>
- Vesga, L., Caicedo, B., & Mesa, L. (2003). *Deep cracking in "Sabana de Bogotá" Clay. Agrietamiento profundo en la arcilla "Sabana de Bogotá"*. *Soils & Rock America*. Cambridge: Verlag Gluckauf GmbH.
- Wilson, G. W. (1990). *Soil evaporative fluxes for geotechnical engineering problems* (p. 489) University of Saskatchewan.

Machine learning para el análisis de arquitecturas implícitas en definiciones de infraestructura como código en repositorios de software*

Machine learning for the analysis of implicit architectures in Infrastructure as Code definitions in software repositories

LUIS FELIPE DÍAZ CHICA¹ - DANIEL BENAVIDES NAVARRO² - WILMER GARZÓN ALFONSO³

1. Estudiante de la maestría en informática de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería.
2. Profesor del Programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería.
3. Profesor del Programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería.

luis.diaz-c@mail.escuelaing.edu.co - luis.benavides@escuelaing.edu.co - wilmer.garzon@escuelaing.edu.co

Recibido: 24/03/2023 Aceptado: 15/05/2023

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

El diseño y la gestión de infraestructura computacional en la nube se hacen cada vez más usando especificación de infraestructura como código (IaC, por su sigla en inglés). Este fenómeno ha resultado en que la gestión de tal infraestructura tenga beneficios y problemas que hasta ahora eran exclusivos de los proyectos de *software*.

En este artículo se investigan técnicas de inteligencia artificial que permitan construir herramientas para explorar de manera sistemática grandes cantidades de repositorios de *software*, identificando qué archivos de código fuente tienen especificaciones de IaC y qué tipo de arquitectura definen estas especificaciones. Por ejemplo, saber si una especificación define una arquitectura de microservicios, o una arquitectura orientada a servicios (SOA, por su sigla en inglés), o si es una arquitectura cliente servidor u otro tipo de arquitectura.

Concretamente, aquí discutimos el concepto de arquitecturas implícitas en las especificaciones de IaC, y presentamos una taxonomía de técnicas de inteligencia artificial utilizadas para el análisis semántico de código fuente y que se pueden usar para hacer la interpretación semántica de especificaciones IaC para detectar las arquitecturas especificadas.

Abstract

The design and management of cloud computing infrastructure are increasingly being done using Infrastructure as Code (IaC) specifications. This trend has resulted in the management of such infrastructure inheriting benefits and challenges that were previously exclusive to software projects.

In this article, we investigate artificial intelligence techniques that enable us to build tools for systematically exploring large repositories of software. The goal is to identify which source code files contain IaC specifications and what type of architecture these specifications define. For instance, we aim to determine whether a specification defines a microservices architecture, a Service-Oriented Architecture (SOA), a client-server architecture, or another type of architecture.

Specifically, we discuss the concept of implicit architectures in IaC specifications and present a taxonomy of artificial intelligence techniques used for semantic analysis of source code. These techniques can be employed for semantic interpretation of IaC specifications to detect the specified architectures.

* Financiado por la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de cómputo son cada vez más complejos. Millones de líneas de código se utilizan para especificar los componentes de *software* que son desplegados sobre infraestructuras computacionales distribuidas y heterogéneas. Estas infraestructuras heterogéneas pueden incluir servidores locales desplegados en centros de datos corporativos, infraestructuras virtuales en proveedores de servicios en la nube, dispositivos móviles personales y dispositivos de internet de las cosas (*Internet of Things*, IoT). Todos interconectados por redes públicas y privadas. Diseñar, implementar, mantener y administrar sistemas de esta envergadura es una tarea difícil para los ingenieros.

Para atacar esta complejidad, se han desarrollado diferentes herramientas y técnicas. Vale la pena considerar, por ejemplo, lo que hoy se denomina infraestructura como código (*Infrastructure as Code*, IaC). La IaC es una técnica que permite especificar, por medio de un lenguaje de programación, el aprovisionamiento, configuración y gestión de infraestructura computacional. Esta técnica se ha desarrollado con especial fuerza en la última década, impulsada por el crecimiento y la popularización de los proveedores de servicios en la nube. Así, IaC ha permitido que la gestión de infraestructura pase de ser un tema de *hardware* a un tema de *software*. Ahora, las abstracciones computacionales, como servidores, memoria y redes, se gestionan directamente desde el código fuente administrando abstracciones virtuales equivalentes, es decir, servidores virtuales, memoria virtual, e incluso redes virtuales. Por supuesto, esta especificación en lenguajes de programación y la amplia disponibilidad de recursos computacionales virtuales a bajo costo han creado un entorno para el desarrollo de sistemas aún más complejos, que escalan fácilmente para atender a millones de usuarios y dispositivos en tiempo real.

En este trabajo estamos interesados en investigar el estado del arte de técnicas y herramientas de inteligencia artificial que nos permitan explorar de manera sistemática grandes cantidades de repositorios de *software*, identificando qué archivos de código fuente tienen especificaciones de IaC y qué tipo de arquitectura definen dichas especificaciones. Para esto, necesitamos construir una herramienta que no solo nos permita determinar que un código define una IaC, sino que también debe ser capaz de analizar el contenido y establecer si, por

ejemplo, se especifica una infraestructura para una arquitectura de microservicios, o una arquitectura orientada a eventos (*event-driven architecture*, en inglés), o si es una arquitectura *serverless* u otro tipo de arquitectura. Concretamente, en este artículo se presentan las siguientes contribuciones:

- Una discusión del concepto de arquitecturas implícitas en las especificaciones de IaC.
- Una taxonomía de técnicas de inteligencia artificial usadas para el análisis semántico de código fuente.

El artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se introduce el concepto de arquitecturas implícitas, en la sección 3 se habla sobre diferentes técnicas de inteligencia artificial que son útiles para el análisis semántico de especificaciones de IaC, y, finalmente, en la sección 4 se presentan las conclusiones.

ARQUITECTURAS IMPLÍCITAS

En esta sección se discute el problema del conocimiento implícito en las especificaciones de infraestructura en código. Para esto, primero se introduce el concepto de infraestructura como código, luego se discute el problema del conocimiento implícito, después se habla sobre el concepto de arquitectura implícita y, finalmente, se relaciona con los patrones de arquitectura en especificaciones de código.

Infraestructura como código

La infraestructura como código (IaC) es un enfoque en la ingeniería de *software* y la computación en la nube, que enfatiza la gestión y el aprovisionamiento de recursos de infraestructura utilizando código y automatización. La IaC permite a las organizaciones tratar las configuraciones, implementaciones y gestión de infraestructura como artefactos de *software*, brindando los beneficios del control de versiones, la repetibilidad y la escalabilidad a la gestión de la infraestructura [43]. La infraestructura como código ha crecido con el tiempo, hasta el punto de tener un gran abanico de herramientas disponibles que ayudan a gestionar la infraestructura en la nube [37].

Al trabajar con infraestructura como código, se heredan los mismos beneficios y retos de trabajar con

un lenguaje de programación convencional, como el mantenimiento del código, curva de aprendizaje, versionamiento, y la posibilidad de inyección de *bugs* [12] y *testing* [27].

Usar código para definir y consolidar la infraestructura de un proyecto de *software* habilita también los temas relacionados con diseño que encontramos en un lenguaje de programación convencional [23]. Es posible hablar de patrones de diseño, mejores prácticas e incluso construcción de librerías o *frameworks* [13].

Conocimiento implícito

El conocimiento abstracto almacenado en el código fuente se refiere a la información implícita [32], perspicacias y experiencia en el dominio incrustadas en el código base de proyectos de *software*. Si bien el propósito principal del código fuente es instruir a los computadores sobre cómo ejecutar tareas, también sirve como un repositorio de conocimiento valioso que los desarrolladores acumulan durante el proceso de desarrollo de *software*. Dicho conocimiento abstracto abarca varios aspectos, entre estos decisiones de diseño, patrones arquitectónicos, convenciones de codificación, optimizaciones de rendimiento y técnicas de solución de problemas.

El *framework* CDK de Amazon, por ejemplo, soporta los lenguajes de programación Typescript, Java, Golang, Python y C# [23]. Cada archivo escrito usando la librería de CDK en alguno de estos lenguajes tiene conocimiento implícito que se puede extraer y analizar. Una de las principales ventajas del conocimiento abstracto almacenado en el código fuente es su capacidad para servir como una forma de documentación. La documentación tradicional, como manuales o especificaciones, a menudo se vuelve obsoleta o no se mantiene de manera efectiva; en contraste, el código fuente actúa como una documentación viva que refleja el estado actual del sistema, que para el caso de la infraestructura como código refleja el estado actual de los recursos físicos o virtuales sobre los cuales se ejecuta un sistema.

Al analizar el código base, los desarrolladores pueden obtener información sobre la razón detrás de ciertas decisiones de diseño [7], comprender el flujo de datos y control, y descubrir suposiciones implícitas sobre el comportamiento del sistema. Además, el conocimiento abstracto almacenado en el código fuente facilita la

colaboración y el intercambio de conocimiento entre los miembros del equipo [52]. Cuando los desarrolladores trabajan en un código base compartido, pueden aprovechar la sabiduría colectiva implícita en el código para mejorar su comprensión y toma de decisiones. Los desarrolladores experimentados pueden transferir su conocimiento a otros en forma indirecta a través del código, permitiendo la transferencia de conocimiento y fomentando una cultura de aprendizaje dentro del equipo.

Extraer y utilizar el conocimiento abstracto del código fuente no siempre es sencillo. Requiere que los desarrolladores posean las habilidades y experiencia necesarias para navegar, descifrar de manera efectiva el código base complejo y entender las decisiones tomadas en el pasado que justifican lo que existe actualmente. El propio código debe estar bien estructurado, modular y adherirse a las mejores prácticas de codificación para facilitar la extracción de conocimiento. El conocimiento abstracto almacenado en el código fuente puede contribuir a la evolución y el mantenimiento de los sistemas de *software*. Si lo relacionamos con la infraestructura como código, el código fuente y su respectivo versionamiento [39] es la representación de cómo la infraestructura se ha ido adaptando a los cambios en el tiempo. Estos cambios pueden estar dados por nuevos requerimientos que llegan al sistema, necesidades de escalar una solución o simplemente actualizar componentes con instancias más modernas [28].

Los desarrolladores a menudo se enfrentan a la necesidad de modificar o extender la funcionalidad existente. El conocimiento abstracto captado en el código puede servir como guía para tomar decisiones informadas durante estos cambios. Al comprender los principios de diseño y los patrones utilizados en el código, los desarrolladores pueden realizar modificaciones más efectivas, que se alineen con la arquitectura del sistema y cumplan con los estándares de codificación establecidos.

El conocimiento abstracto almacenado en el código fuente representa un activo valioso para proyectos de desarrollo de *software* y se aplica para el subdominio de infraestructura como código. Permite una colaboración efectiva y respalda la transferencia de experiencia dentro de los equipos de desarrollo. Reconocer la importancia del conocimiento abstracto en el código fuente y emplear técnicas apropiadas para aprovechar este conocimiento puede ayudar a mejorar las prácticas

de desarrollo de *software*, optimizar la calidad del código y facilitar el aprendizaje y mejora continua.

El problema: arquitecturas implícitas

El concepto de obtener conocimiento de una arquitectura y las mejores prácticas para resolver problemas siguiendo un patrón estructurado lo introdujeron Alexander, Ishikawa y Silverstein (1997) [2]. En este estudio se presentan patrones para la construcción de estructuras como pueblos, edificios o cuartos dentro de un edificio. La arquitectura de *software* es similar, en el sentido de que es un diseño a alto nivel de la estructura que uno o varios componentes de *software* tendrán al momento de implementarse [19], [49].

Esta planificación normalmente se basa en patrones o abstracciones teóricas que ya se han probado y que han funcionado para resolver ciertos problemas comunes. Un ejemplo de esto son las arquitecturas orientadas a eventos, que ayudan a implementar proyectos donde existe comunicación asíncrona entre varios sistemas. Los proyectos de infraestructura como código aprovechan los patrones de arquitecturas para implementar soluciones generales y reutilizables para problemas recurrentes respecto a la definición de los componentes de la infraestructura. Un ejemplo de esto son las soluciones basadas en contenedores, que son un patrón muy común para implementar arquitecturas de microservicios [14].

Entre los proyectos de infraestructura como código hay un conjunto de recursos de infraestructura agrupados y ordenados de tal modo que pueden dar una idea de las decisiones de arquitectura que tomaron los desarrolladores y arquitectos. Derivado de esto hemos definido como arquitecturas implícitas una posible arquitectura o patrón que siguen estas definiciones para resolver problemas recurrentes, la cual puede ser derivada del código fuente de un proyecto.

El conocimiento no implícito, es decir, el que reposa en la cabeza de los arquitectos y desarrolladores, representa una parte importante en la toma de decisiones de diseño de una arquitectura de *software*, ya que según estudios este conocimiento queda en un grupo pequeño del equipo que tiene un gran porcentaje de contribuciones a los diseños de arquitectura [41]. Con la llegada de la infraestructura como código es posible acercarse a ese conocimiento tácito que reposa en los equipos de

desarrollo de *software*, identificando las arquitecturas implícitas en los proyectos de *software*.

El conocimiento sobre arquitecturas de *software* tiene un constante cambio [43] y evoluciona con los años [1]. La ventaja de tener infraestructura como código es que se puede aprovechar el versionamiento del código para extraer una foto de los recursos de infraestructura [35] y recrear la arquitectura implícita en cualquier punto en el tiempo [45].

Un problema común entre los proyectos de *software* es la pérdida considerable de conocimiento, hecho que es más relevante en proyectos de código abierto, donde no existen mecanismos establecidos o buenas prácticas para reducir la pérdida de conocimiento. Este problema en los proyectos de código abierto es muy común, ya que no se les presta la misma atención que otros proyectos privados.

El análisis sintáctico de código en conjunto con diferentes técnicas de aprendizaje de máquina pueden funcionar para la detección y minado de conocimiento implícito en proyectos de *software* sobre repositorios código. Es una herramienta para acercarnos a ese conocimiento implícito que dejaron los miembros de un equipo en el código.

Existen proyectos que han aprovechado las técnicas de *machine learning* y los modelos de lenguaje para minar conocimiento implícito en documentos de texto que, dada su naturaleza, comparten ciertas características con el código fuente al ser ambos escritos en un lenguaje con una estructura y reglas “sintácticas”. En el trabajo realizado por Becker, Liang y Frank (2021) [8] se aplica técnica de ajuste fino a modelos de lenguaje preentrenados con base de conocimiento que explica el conocimiento implícito en los documentos de texto. Allí se concluye que las tareas de reconstrucción de conocimiento implícito necesitan una guía muy cuidadosa para obtener resultados coherentes. El ajuste fino se aplicó a los modelos de lenguaje GPT-2, XL-NET y BART, donde BART fue capaz de generar las frases más coherentes al conocimiento implícito entre un par de frases.

Los problemas de la reconstrucción de una arquitectura es que se necesita bastante trabajo manual para escanear los componentes de un sistema de *software*. Por esto se requieren herramientas [46] apoyadas en técnicas de inteligencia artificial para extraer las arquitecturas implícitas en proyectos de infraestructura como código.

Patrones arquitectónicos en la nube

Con el surgimiento de la computación en la nube, los sistemas empresariales comenzaron a tener una migración a ese ecosistema [55]. Las empresas buscan aprovechar las ventajas que la nube ofrece, tales como escalabilidad, reducción de costos, mantenimiento y seguridad [30]. En paralelo surgió el concepto de aplicaciones nativas en la nube [33] (*Cloud-native applications*), que según lo describe el nombre son aplicaciones que están construidas para correr de forma nativa en ambientes *cloud*. Con la llegada de la computación en la nube y la IaC como herramienta para desplegar infraestructura de forma automatizada, han surgido diferentes tipos de patrones arquitectónicos [17] comúnmente usados al momento de implementar soluciones nativas. Algunos de los patrones que podemos encontrar en la bibliografía y en la industria son:

- Arquitecturas orientadas a eventos
- Arquitecturas *serverless* [53]
- Arquitecturas *big data* [36]
- Arquitecturas para IoT [57]
- Arquitecturas de microservicios

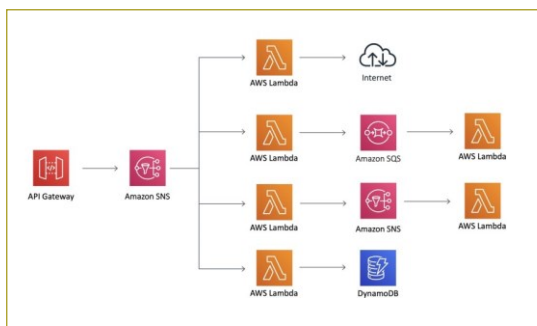


Figura 1. Ejemplo de arquitectura *serverless*.

MACHINE LEARNING PARA ANÁLISIS DE CÓDIGO

En esta sección se hace una taxonomía conceptual para entender el estado del arte en el uso de técnicas computacionales para el análisis e interpretación de código usando aprendizaje de máquina. Para esto, en la primera sección se analizan las formas en que se puede representar el código para entrenar modelos de inteligencia artificial. Luego, se introducen conceptos de redes neuronales y se discuten diferentes arquitecturas de redes neuronales convolucionales y su uso.

Finalmente, se presenta una discusión de trabajos que usan modelos de lenguaje de gran envergadura (*Large Language Models*, en inglés) para estudiar código fuente y el proceso de refinamiento para ajustar estos modelos a tareas particulares.

Representaciones de código

La representación de código se compone de las estrategias para transformar código fuente en representaciones que se pueden emplear para entrenar modelos de *machine learning*. En las siguientes secciones se exponen las técnicas para representar código fuente en forma secuencial o estructurada [51], en un espacio vectorial de baja dimensión conocido como *embeddings*. Los *embeddings* son una representación vectorial que permite a los modelos de inteligencia artificial entender los datos de entrenamiento y extraer relaciones entre ellos.

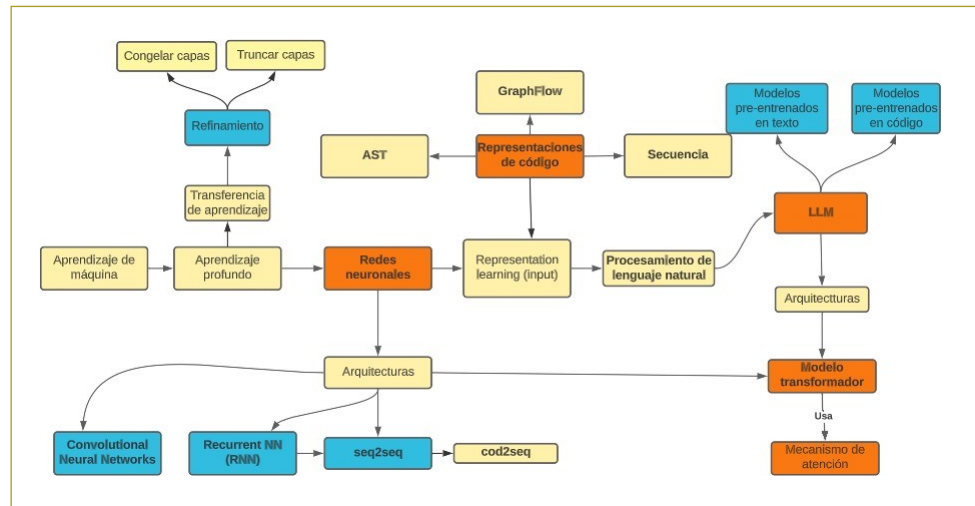
Árboles de sintaxis abstractos

Abstract syntax tree (AST) es una estructura de datos usada para representar la estructura y semántica de un código fuente. Un AST es una representación jerárquica basada en árboles que capta la estructura sintáctica del código deconstruyéndolo en nodos del árbol. Cada nodo representa un constructor sintáctico en el código, tales como funciones, expresiones, variables, operaciones o asignaciones [59].

Los AST se generan en un proceso previo a la compilación del programa, ya que son ejecutados como un código sintáctico. Proveen una representación a alto nivel del código y eliminan detalles como la puntuación y el formato. Además, captan las relaciones entre los elementos del código y la relación jerárquica, facilitando así el análisis, manipulación y transformación de código de manera programática [5].

Estos AST se han comenzado a utilizar como herramienta para crear *embeddings* de código fuente, lo que ha ayudado a solucionar tareas tales como análisis de código estático, refactorización y generación de código [31]. La ventaja de los AST es que permiten entender el código por medio de una estructura que preserva la semántica y la intención del código. Las representaciones con AST se pueden emplear en varios modelos de *machine learning* para aprender representaciones signifi-

Figura 2.



cativas del código, mucho de lo cual se ha usado para tareas como detección de *bugs*, resumen de código, clasificación y generación de código.

Graph flow

Graph flow es una representación de código que se enfoca en captar el control de flujo y dependencias de datos dentro de un programa. En una representación basada en *graph flow*, los constructores del código, tales como funciones o módulos, son representados por nodos en un *graph* dirigido, y los arcos representan un control de flujo o dependencia entre los constructores.

Los arcos del flujo captan el orden en el que se ejecuta un programa. Ellos representan el control de flujo entre *loops* condicionales y llamadas a funciones. Esta característica de dicha técnica de representación permite a modelos de *machine learning* entender la lógica del programa y tomar decisiones según los caminos que haya dentro del grafo.

```
public static boolean f(Bitmap bmp, File file) {
    try {
        BufferedOutputStream bos = new BufferedOutputStream(
            new FileOutputStream(file));
        bmp.compress(Bitmap.CompressFormat.PNG, 90, bos);
        bos.close();
        return true;
    } catch (IOException e) {
        Log.e(TAG, "failed to save frame", e);
    }
    return false;
}
```

Figura 3. Taxonomía general de *machine learning* para análisis de código.

Los grafos de dependencias de datos captan las dependencias entre elementos de datos dentro del código. Ellos representan la relación entre las variables, expresiones y computaciones que se efectúan sobre los valores [58]. Con el modelado de dependencia de datos, las representaciones de *graph flow* permiten a los modelos de *machine learning* entender las relaciones entre partes del código y tomar acciones sobre las dependencias entre datos. *Graph flow* funciona bastante bien para tareas que requieren entender el comportamiento dinámico del código, tales como tareas de optimización o *debugging*. Esta representación permite captar interacciones y dependencias dentro del código [51].

Secuencia

La representación en secuencia es una forma de representar el código fuente en la que el código es tratado como una secuencia de *tokens* o identificadores. En esta representación, el código es tokenizado en elementos individuales, tales como *keywords*, operadores, variables y valores, y son organizados linealmente en una secuencia [38].

La representación por secuencia capta la secuencia natural de la ejecución del código y el orden en el que las expresiones son ejecutadas. Este provee una forma muy concreta e intuitiva para modelar el código, aprovechando técnicas como las redes neuronales recurrentes o los modelos transformadores. En este tipo de representación, cada *token* o identificador en el código es encodeado como un vector de longitud fija. Se utiliza en modelos como LSTM o LSMT bidireccional [47],

y también en modelos con arquitecturas basadas en transformadores [54]. Esta representación es enviada a modelos de *deep learning* que procesan secuencias de datos y permiten trabajar con tareas tales como generación de código, completar código y resumir código.

La representación por secuencia ha mostrado gran efectividad en captar dependencias locales y patrones dentro del código; sin embargo, puede llegar a tener problemas captando dependencias o relaciones complejas en grandes bloques de código. En estos casos, representaciones como AST o *graph flow* han demostrado ser mejores.

Aprendizaje profundo y redes neuronales

Deep learning es un subconjunto de *machine learning* donde se usan redes neuronales para aprender representaciones de datos. Las redes neuronales son el bloque principal sobre el cual están contruidos los modelos de *deep learning* [20], modelos que tienen como objetivo permitir a un sistema computacional aprender y tomar decisiones sin la necesidad de una programación explícita. Los algoritmos de *deep learning* se basan en el poder de las redes neuronales para aprender automáticamente representaciones de los datos. Una de las ventajas del *deep learning* es la habilidad de procesar grandes cantidades de datos, por lo que es clave en tareas como detección de imágenes y de voz [16].

El entrenamiento de una red neuronal normalmente conlleva dos pasos: *forward propagation* y *backward propagation*. Durante *forward propagation*, los datos son enviados a través de la red y las salidas son calculadas capa por capa [15]. En el caso de *back propagation*, se calculan los gradientes de los parámetros del modelo con respecto a una función de pérdida, lo que permite actualizar de forma eficiente los parámetros por medio de algoritmos de optimización como el gradiente descendente estocástico.

En el estado del arte encontramos que *deep learning* ha alcanzado logros significativos que han revolucionado varios dominios. Ejemplos claros incluyen el uso de redes neuronales convolucionales (CNN) para reconocimiento de imágenes [26], redes neuronales recurrentes (RNN) para el procesamiento de secuencia de datos [48] y modelos transformadores para el procesamiento de lenguaje natural [54]. Estos avances han liderado el estado del arte en tareas como detección de

objetos, traducción a máquina, análisis de sentimiento y modelos generativos.

Una red neuronal es un algoritmo de *machine learning* que está estructurado y modelado con base en el cerebro humano [50]. Se compone de capas que están interconectadas por nodos, también conocidos como neuronas. Cada neurona procesa y transforma los datos que recibe en probabilidades. La estructura por capas permite que cada neurona reciba como entrada los resultados de la capa anterior y nuevamente se aplican transformaciones matemáticas para producir una salida. Este proceso se repite sobre la secuencia de capas, hasta llegar a la capa final, donde se genera el resultado.

El bloque principal de una red neuronal son los perceptrones, donde se calcula la suma de los pesos de los datos de entrada y se aplica una función de activación para producir un *output*. Cada peso determina la importancia de cada *input*, y la función de activación introduce modelos no lineales [6]. La combinación de diferentes tipos de perceptrones permite a las redes neuronales aprender patrones y representaciones cada vez más complejas. Las redes neuronales están compuestas de hasta cientos de capas, cada una de las cuales está compuesta por varios perceptrones [21]. Cada capa permite aprender de forma incremental representaciones abstractas de los datos que se reciben como *input*. La gran ventaja de un modelo de *deep learning* es que permite aprender automáticamente características de los datos.

Arquitecturas de *deep learning*

Una arquitectura de *deep learning* se refiere a la estructura y el diseño de una red neuronal profunda (*deep neural network*). Define cómo se organizan y conectan las capas de la red neuronal para procesar la información y realizar tareas específicas de aprendizaje automático.

Una arquitectura de *deep learning* consta generalmente de múltiples capas de neuronas interconectadas, donde cada capa procesa y transforma los datos de entrada para generar una salida final. Cada capa puede contener diferentes tipos de unidades, como neuronas, celdas LSTM o convoluciones, dependiendo de la tarea y el tipo de datos que se están procesando.

– **Feedforward Neural Networks.** También conocidas como *Multi-Layer Perceptrons* (MLP), estas arquitecturas constan de una secuencia de capas

interconectadas, donde la información fluye en una dirección, desde la capa de entrada hacia la capa de salida.

Las capas ocultas en el medio procesan y transforman los datos de entrada para generar una salida final.

- **Convolutional Neural Networks.** Estas arquitecturas se emplean principalmente para el procesamiento de imágenes y video. Utilizan capas de convolución para extraer características y patrones espaciales de los datos de entrada, lo que las hace efectivas en tareas como clasificación de imágenes, segmentación de objetos y detección de características visuales [22].
- **Recurrent Neural Networks.** Arquitecturas diseñadas para procesar datos secuenciales, como series de tiempo o texto. Las capas recurrentes tienen conexiones de retroalimentación, lo que les permite mantener una memoria de estados anteriores y captar dependencias a largo plazo en la secuencia. Son ampliamente utilizadas en tareas como modelado de lenguaje, traducción automática, reconocimiento de voz y generación de texto [44].
- **Generative Adversarial Networks.** Estas arquitecturas consisten en un generador y un discriminador que compiten entre sí. El primero procura generar muestras sintéticas que sean indistinguibles de los datos reales, mientras que el segundo intenta distinguir entre las muestras generadas y los datos reales. Se utilizan para generar contenido sintético, como imágenes realistas [29].
- **Seq2seq.** Arquitecturas de red neuronal diseñadas para mapear una secuencia de entrada a una secuencia de salida. Son particularmente útiles para tareas que generan secuencias, tales como traducciones, resumen de texto y sistemas de diálogo (chatbots). Funciona con un *encoder* que procesa la entrada y la transforma en una representación vectorial con una longitud fija, la cual es tomada luego por el *decoder* para generar la salida. Un *encoder* típicamente está construido usando una arquitectura RNN, tales como *Long Short-term memory* (LSTM) o *Gated Recurrent Unit* (GRU), para captar las dependencias entre los *tokens* de la secuencia. Cada elemento de la secuencia es enviado a un *encoder*, donde se genera un estado oculto que capta la información de la secuencia de entrada. Para mejorar los modelos Seq2

Seq, se han propuesto varias extensiones y mejoras. A menudo se incorporan mecanismos de atención para abordar la limitación del vector de contexto de longitud fija al permitir que el decodificador se centre en diferentes partes de la secuencia de entrada en cada paso de tiempo. Los mecanismos de atención permiten que el modelo alinee las secuencias de entrada y salida de una manera más efectiva.

Además, se han vuelto populares variaciones arquitectónicas avanzadas, como los modelos basados en Transformer. Los Transformers emplean mecanismos de autoatención para captar las dependencias entre todas las posiciones de las secuencias de entrada y salida simultáneamente. Han logrado resultados notables en tareas como la traducción automática, en la que han alcanzado un rendimiento de vanguardia.

- **Code2seq.** Es el modelo sucesor de code2vec [4], diseñado para representación y generación de código fuente. Extiende el concepto del modelo seq2seq al dominio del código fuente, y lo consigue mapeando código fuente de entrada a código fuente de salida; code2seq logra generar secuencias de código como cuerpos de un método o implementaciones completas de funciones, según el contexto o las descripciones dadas como entrada. El modelo code2seq consta de dos componentes principales: un codificador y un decodificador. El *encoder* toma el fragmento de código de entrada y lo codifica en una representación de longitud fija, similar al modelo Seq2seq. Sin embargo, en lugar de utilizar un codificador estándar basado en RNN, code2seq usa una arquitectura de red neuronal especializada que combina codificadores basados en rutas y en AST. Estos codificadores captan tanto la información estructural del código como las relaciones contextuales entre diferentes partes del código.

El componente *decoder* de code2seq genera la secuencia de código de salida en función de la representación codificada del *encoder*. El *decoder* emplea técnicas como mecanismos de atención y búsqueda de haz para producir la secuencia más probable de *tokens* de código, dado el contexto. El modelo se entrena utilizando aprendizaje supervisado con pares de fragmentos de código de entrada y salida, donde el objetivo es maximizar la probabilidad de generar la salida correcta, dada la entrada [3].

Modelo transformador

Los transformadores son arquitecturas basadas en atención [54] propuestas en el *paper* “Attention is all you need” (2017). Este *paper* revolucionó muchas de las tareas que se realizaban sobre procesamiento de lenguaje natural y ha sido adoptado masivamente en varios dominios relacionados. El modelo Transformer es conocido por su capacidad para captar eficazmente dependencias a largo plazo y manejar datos secuenciales, sin depender de redes neuronales recurrentes (RNN).

La innovación clave del modelo Transformer radica en su mecanismo de atención y el uso de *self-attention*. A diferencia de los modelos de secuencia tradicionales que procesan la entrada de forma secuencial, el Transformer utiliza *self-attention* para captar las dependencias entre todas las posiciones de la secuencia de entrada simultáneamente. Esto permite que el modelo pondere la importancia de cada *token* de entrada en función de su relevancia para otros *tokens*, lo que resulta en una representación más integral de la entrada.

El modelo Transformer consta de un *encoder* y un *decoder*. Ambos están compuestos por múltiples capas, y cada capa contiene dos subcapas: un mecanismo de *self-attention* de múltiples cabezas y una red neuronal de avance (*feed-forward*) por posición. El mecanismo de *self-attention* de múltiples cabezas permite que el modelo atienda diferentes partes de la secuencia de entrada en paralelo, mientras que la red neuronal aplica una transformación no lineal a cada posición por separado. Esta característica de procesar *token* en paralelo por separado ha sido uno de los grandes diferenciadores con respecto a las RNN y otros modelos en el estado del arte, trabajando sobre tareas de procesamiento de lenguaje natural.

En el *encoder*, el mecanismo de *self-attention* permite que el modelo capte las relaciones entre las palabras en la oración de entrada, mientras que la red por posición proporciona transformaciones adicionales. Por otro lado, el *decoder* no solo atiende a la secuencia de entrada, sino que también utiliza un mecanismo de atención adicional sobre la salida del *encoder*. Esto permite que el *decoder* considere el contexto de la secuencia de entrada mientras genera la secuencia de salida.

El modelo Transformer ha logrado un rendimiento de vanguardia en diversas tareas de procesamiento del lenguaje natural, entre estas la traducción automática, la generación de texto, la respuesta a preguntas y la

comprensión del lenguaje. Ha demostrado ser particularmente eficaz en la modelización y generación de secuencias con dependencias a largo plazo, lo que lo convierte en una arquitectura versátil y poderosa para una amplia gama de aplicaciones basadas en secuencias.

Generative Pre-trained Transformer (GPT). Es un tipo de modelo de aprendizaje profundo que utiliza la arquitectura Transformer [54] y se preentrena en un *corpus* grande de datos de texto. GPT fue introducido por OpenAI con sus versiones GPT-2 [42], GPT-3[10] y GPT-4 [40], siendo esta última la más reciente.

Para el caso de GPT-3 se reutiliza la misma arquitectura y modelo de GPT-2, con la diferencia de que se incrementa el número de parámetros usados de 125 billones a 175 billones. Durante el preentrenamiento el modelo se expone a una gran cantidad de datos de texto no etiquetados, como libros, artículos y páginas web. El objetivo es aprender las propiedades estadísticas y los patrones presentes en los datos. La innovación clave de GPT es que se entrena de manera no supervisada, sin necesidad de etiquetas humanas. La fase de preentrenamiento de GPT implica predecir la siguiente palabra en una secuencia, dadas las palabras precedentes, tarea que se conoce como “modelo de lenguaje enmascarado”. Al entrenar en esta tarea, el modelo aprende a entender las relaciones contextuales entre las palabras y capta representaciones de lenguaje a un nivel más alto.

Después del preentrenamiento, el modelo se ajusta finalmente en tareas específicas, como clasificación de texto, análisis de sentimientos o traducción automática. En esta fase, el modelo se entrena con datos etiquetados específicos de la tarea, lo que le permite adaptar sus representaciones preaprendidas a la tarea objetivo. Una de las características destacadas de GPT es su capacidad para generar texto coherente y apropiado en contexto. Dado un fragmento o una oración incompleta, el modelo puede generar las siguientes palabras de manera consistente con el estilo y contenido de los datos de preentrenamiento. Esto hace que GPT sea útil para aplicaciones como completado de texto, chatbots y generación de contenido.

Large Language Models

Los modelos de lenguaje de gran envergadura (*Large Language Models*, LLM) son modelos de aprendizaje profundo que están entrenados en cantidades masivas

de datos, normalmente texto, para generar texto entendible por el humano o para efectuar ciertas tareas particulares relacionadas con la generación de texto o secuencias de palabras (*tokens*). Estos modelos han ganado bastante popularidad, gracias a la habilidad que tienen para procesar lenguaje natural.

Los LLM normalmente emplean arquitecturas basadas en transformadores, donde se utilizan mecanismos de atención [54] para captar las relaciones entre las palabras y crear un contexto. Estos modelos se están entrenando en bases de datos gigantescas, incluyendo datos corporativos, libros, artículos, sitios webs y cualquier fuente de texto digitalizable para aprender patrones, relaciones semánticas y sintácticas de un lenguaje.

Normalmente, estos modelos se entrenan usando aprendizaje no supervisado [42], donde aprenden a predecir la siguiente palabra en una secuencia utilizando como entrada todas las palabras anteriores. Básicamente, entienden el contexto de una frase y aprenden de este, lo que ha traído logros muy destacados en tareas de procesamiento de lenguaje natural, como generar texto, completar texto, analizar sentimientos y obtener información. Su gran popularidad ha hecho que se distribuyan en chatbots, asistentes virtuales y generadores de contenido, entre muchos más.

Entre los ejemplos de LLM que cabe destacar están OpenAI, con sus modelos GPT (*Generative Pretrained Transformer*), tales como GPT-3 [10], GPT-2 y GPT-1. Estos modelos han estado a la vanguardia del mundo académico y cada vez más acoplados a la industria, gracias a la capacidad de procesar de forma eficiente diferentes tareas de NLP.

Large Language Models preentrenados en código

Los LLM preentrenados también se han aplicado a dominios de código fuente para mejorar varias tareas relacionadas con código y entender mejor la semántica del código. Estos modelos se apoyan en la inmensa cantidad de código fuente disponible en repositorios *open-source*, foros, blogs y repositorios privados para identificar patrones, relaciones y conceptos de programación.

Preentrenar un modelo en código permite captar propiedades sintácticas y semánticas del código y aprender a generar fragmentos de código, completar códigos o ejecutar tareas como clasificación o resumen de bloques de código. En la actualidad, han tomado

bastante popularidad en la comunidad de desarrolladores de *software* los modelos asistentes que ayudan a generar código, refactorizar o incluso encontrar *bugs*. Estos modelos pueden usar diferentes tipos de representaciones para entrenar un modelo.

- **CodeBERT**. Es un modelo bimodal (dos tipos de modalidades como entrada), preentrenado para lenguaje natural y lenguajes de programación. CodeBERT capta las conexiones semánticas entre lenguaje natural y lenguajes de programación, y produce representaciones generales que pueden ayudar a resolver tareas de NL-PL (por ejemplo, en busca de código con lenguaje natural) y tareas de generación (generación de documentación de código). Se construyó con un transformador de múltiples capas, usado en la mayoría de los modelos de lenguaje preentrenados. CodeBERT está entrenado en seis lenguajes de programación, usando como conjunto de entrenamiento proyectos de GitHub [18].
- **GraphCodeBERT**. Modelo preentrenado que incorpora un grafo de flujo de datos para mejorar la representación del código. Considerando dependencias de datos entre los elementos de código Graph, CodeBERT logra mejorar el rendimiento del estado del arte en algunas tareas de código, como resumen de código y detección de *bugs* [25].
- **CodeT5**. Es un modelo basado en la arquitectura T5, especialmente para generar código. CodeT5 alcanza el estado del arte en tareas como resumen de código y traducción de código [56].
- **UnixCode**. Modelo preentrenado que usa matrices de máscaras de atención para modelar el comportamiento del modelo y aprovechar las representaciones como árboles abstractos de sintaxis (AST) y los comentarios dentro del código. UnixCode demuestra buenos resultados en varias tareas de código, revelando que los comentarios en el código y la representación con AST pueden mejorar el rendimiento de UInXcoder [24].

Transferencia de aprendizaje y refinamiento

- **Transferencia de conocimiento**. Técnica en la que un modelo que se ha entrenado para una tarea particular se emplea como punto de partida para un modelo que se usará en una tarea similar [61]. Un

ejemplo de esto puede ser tomar un modelo que fue entrenado para la identificación de mochilas y reutilizarlo para crear un nuevo modelo que identifica lentes de sol. En este caso, se descongelan unas capas del modelo inicial y se dejan aquellas que saben identificar objetos en general; luego se adicionan capas nuevas que se entrenan para detectar lentes de sol.

- **Refinamiento.** También conocido como *fine-tuning*, es una técnica de transferencia de conocimiento utilizada en el aprendizaje automático para mejorar un modelo preentrenado y adaptarlo a una tarea específica [11]. Consiste en tomar un modelo ya entrenado en un conjunto de datos masivamente grande y ajustar sus parámetros, utilizando un conjunto de datos más pequeño y específico para la tarea que se desea resolver.

Congelamiento de capas

Congelar una capa es la estrategia de entrenamiento en la que se controla la forma como los pesos son actualizados al momento de ajustar un modelo previamente entrenado. Cuando una capa está congelada, los pesos no se pueden modificar. Esta técnica se emplea normalmente cuando se quiere reducir el tiempo computacional durante el entrenamiento, sin perder mucha precisión en los resultados [9]. De forma indirecta, se congelan capas ocultas de la red neuronal para acelerar el entrenamiento.

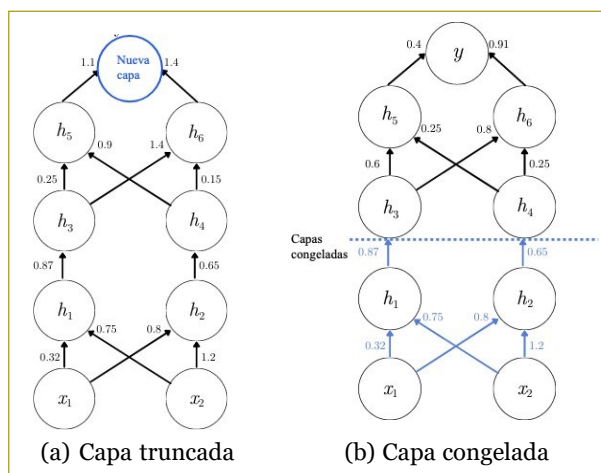


Figura 4.

Si se considera una red neuronal de dos capas y se congela la primera capa (figura 4), al ejecutar un entrenamiento con 50 *epochs* estamos ejecutando una computación idéntica para la primera capa, es decir, no existe una computación en la primera capa y los pesos no son actualizados. Por defecto, los modelos preentrenados tienen sus capas congeladas y solo la última capa es entrenable, pero esto puede ser ajustable.

El congelamiento de capas se puede ajustar según el error que estemos dispuestos a tolerar en las predicciones, sacrificando un poco de error por un tiempo menor de entrenamiento [34]. Aunque el refinamiento no es una solución de oro para todos los problemas, sí hay que tomar en cuenta el dominio de los modelos preentrenados para tener mejores resultados.

Truncado

Una de las prácticas más comunes en refinamiento es truncar la última capa del modelo preentrenado y reemplazarlo con una nueva cara de tipo *softmax* específica para el problema [60]. Si tenemos un modelo que clasifica imágenes en mil categorías podemos truncar la última capa y agregar una nueva que reduzca esta categorización a diez categorías. Después de agregar esta nueva capa, se ejecuta el proceso de entrenamiento sobre la red usando los pesos preentrenados.

CONCLUSIONES

En este artículo discutimos el concepto de conocimiento implícito e introducimos las arquitecturas implícitas como el conocimiento implícito sobre la arquitectura de *software* que existe dentro de un proyecto de infraestructura como código. También discutimos algunos de los principales patrones arquitectónicos que están presentes en proyectos nativos en la nube.

Exponemos una taxonomía del estado del arte en *machine learning*. La taxonomía discute primero la forma en que se representa el código fuente para ser interpretado y una visión general de los modelos de redes neuronales usados para el análisis semántico del código. Luego explora en más detalle los modelos grandes de lenguaje y detalla los modelos grandes de lenguaje entrenados en código. Finalmente, se discuten técnicas de transferencia de aprendizaje y ajuste finos para refinar

estos modelos para tareas específicas, dentro de un dominio en particular.

A partir de este primer resultados, nos proponemos primero construir un modelo grande de lenguaje especializado para la interpretación semántica de especificaciones de infraestructura como código. Concretamente, el modelo buscará detectar el tipo de arquitectura que los diseñadores especificaron en el código. Luego, haremos un experimento de gran escala para evaluar el modelo masivamente sobre repositorios de GitHub, para estudiar el tipo de patrones arquitecturales que están usando los diseñadores en la concepción de sistemas. Esto permitirá resolver preguntas como ¿Cuál es la penetración real de los diferentes tipos de patrones arquitectónicos? ¿Qué porcentaje de nuevos proyectos sobre internet se inician con una arquitectura de monolito? ¿Qué cantidad de proyectos en curso están migrando o usando arquitecturas *serverless*?

REFERENCIAS

- [1] Ahmad, A., Jamshidi, P. and Pahl, C. A framework for acquisition and application of software architecture evolution knowledge: 14. *Sigsoft Softw. Eng. Notes*, 38(5):1-7, aug 2013.
- [2] Alexander, C., Ishikawa, S. and Silverstein, M. *A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction*. Center for Environmental Structure Berkeley, Calif.: Center for Environmental Structure series. OUP USA, 1977.
- [3] Alon, U., Brody, S., Levy, O. and Yahav, E. Code2seq: Generating sequences from structured representations of code, 2019.
- [4] Alon, U., Zilberstein, M., Levy, O. and Yahav, E. Code2vec: Learning distributed representations of code, 2018.
- [5] Alon, U., Zilberstein, M., Levy, O. and Yahav, E. A general path-based representation for predicting program properties, 2018.
- [6] Alzubaidi, L., Zhang, J., Humaidi, A.J., Al-Dujaili, A., Duan, Y., Al-Shamma, O., Santamaría, J., Fadhel, M.A., Al-Amidie, M. and Farhan, L. Review of deep learning: Concepts, cnn architectures, challenges, applications, future directions. *Journal of Big Data*, Mar 2021.
- [7] Babar, M., Gorton, I. and Jeffrey, R. Capturing and using software architecture knowledge for architecture-based software development. In *Fifth International Conference on Quality Software (QSIC'05)*, pp. 169-176, 2005.
- [8] Becker, M., Liang, S. and Frank, A. Reconstructing implicit knowledge with language models. In *Workshop on Knowledge Extraction and Integration for Deep Learning Architectures; Deep Learning Inside Out*, 2021.
- [9] Brock, A., Lim, T., Ritchie, J.M. and Weston, N. *Freezeout: Accelerate training by progressively freezing layers*, 2017.
- [10] Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D.M., Wu, J., Winter, C., Hesse, C., Chen, M., Sigler, E., Litwin, M., Gray, S., Chess, B., Clark, J., Berner, C., McCandlish, S., Radford, A., Sutskever, I. and Amodei, D. *Language models are few-shot learners*, 2020.
- [11] Cetinic, E., Lipic, T. and Grgic, S. Fine-tuning convolutional neural networks for fine art classification. *Expert Systems with Applications*, 114:107–118, 2018.
- [12] Dalla Palma, S., Di Nucci, D., Palomba, F. and Tamburri, D.A. Within-project defect prediction of infrastructure-as-code using product and process metrics. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 48(6):2086–2104, 2022.
- [13] Dalla Palma, S., Di Nucci, D. and Tamburri, D.A. Ansible-metrics: A python library for measuring infrastructure-as-code blueprints in ansible. *SoftwareX*, 12:100633, 2020.
- [14] De Laurentis, L. From monolithic architecture to microservices architecture. In *2019 IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops (ISSREW)*, pp. 93-96, 2019.
- [15] Du, X., Cai, Y., Wang, S. and Zhang, L. Overview of deep learning. In *2016 31st Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC)*, pp. 159–164, 2016.
- [16] Fadlullah, Z.M., Tang, F., Mao, B., Kato, N., Akashi, O., Inoue, T. and Mizutani, K. State-of-the-art deep learning: Evolving machine intelligence toward tomorrow's intelligent network traffic control systems. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(4):2432–2455, 2017.
- [17] Fehling, C., Leymann, F., Retter, R., Schupeck, W. and Arbitter, P. *Cloud computing patterns*. Springer, Vienna, Austria, 2014 edition, Mar. 2014.
- [18] Feng, Z., Guo, D., Tang, D., Duan, N., Feng, X., Gong, M., Shou, L., Qin, B., Liu, T., Jiang, D. and Zhou, M. Codebert: A pre-trained model for programming and natural languages, 2020.
- [19] Gamma, E., Helm, R., Larman, C., Johnson, R. and Vlissides, J. *Valuepack: Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software with Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development*. Addison Wesley, 2005.
- [20] Georgousis, S., Kenning, M.P. and Xie, X. Graph deep learning: State of the art and challenges. *IEEE Access*, 9:22106–22140, 2021.
- [21] Goodfellow, I.J., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A. and Bengio, Y. *Generative adversarial networks*, 2014.
- [22] Gu, J., Wang, Z., Kuen, J., Ma, L., Shahroudy, A., Shuai, B., Liu, T., Wang, X., Wang, G., Cai, J. and Chen, T. Recent advances in convolutional neural networks. *Pattern Recognition*, 77:354-377, 2018.
- [23] Guerriero, M., Garriga, M., Tamburri, D.A. and Palomba, F. Adoption, support, and challenges of infrastructure-as-code: Insights from industry. In *2019 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSM)*, pp. 580-589, 2019.
- [24] Guo, D., Lu, S., Duan, N., Wang, Y., Zhou, M. and Yin, J. Unixcoder: Unified cross-modal pretraining for code representation, 2022.
- [25] Guo, D., Ren, S., Lu, S., Feng, Z., Tang, D., Liu, S., Zhou, L., Duan, N., Svyatkovskiy, A., Fu, S., Tufano, M., Deng, S.K., Clement, C., Drain, D., Sundaresan, N., Yin, J., Jiang, D. and Zhou, M. *Graphcodebert: Pre-training code representations with data flow*, 2021.

- [26] Hao, W., Bie, R., Guo, J., Meng, X. and Wang, S. Optimized cnn based image recognition through target region selection. *Optik*, 156:772–777, 2018.
- [27] Hasan, M.M., Bhuiyan, F.A. and Rahman, A. Testing practices for infrastructure as code. In *Proceedings of the 1st ACM Sigsoft International Workshop on Languages and Tools for Next-Generation Testing*, Langeti 2020, pp. 7–12, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.
- [28] Kagdi, H., Collard, M.L. and Maletic, J.I. A survey and taxonomy of approaches for mining software repositories in the context of software evolution. *Journal of Software Maintenance and Evolution: Research and Practice*, 19(2):77–131, 2007.
- [29] Karras, T., Aila, T., Laine, S. and Lehtinen, J. Progressive growing of gans for improved quality, stability, and variation. *CoRR*, abs/1710.10196, 2017.
- [30] Keery, S., Harber, C. and Young, M. *Implementing Cloud Design Patterns for AWS: Solutions and design ideas for solving system design problems*. Packt Publishing, Limited, 2019.
- [31] Kovalenko, V., Bogomolov, E., Bryksin, T. and Bacchelli, A. Pathminer: A library for mining of path-based representations of code. In *2019 IEEE/ACM 16th International Conference on Mining Software Repositories (MSR)*, pp. 13–17, 2019.
- [32] Land, L., Aurum, A. and Handzic, M. Capturing implicit software engineering knowledge. In *Proceedings 2001 Australian Software Engineering Conference*, pp. 108–114, 2001.
- [33] Linthicum, D.S. Cloud-native applications and cloud migration: The good, the bad, and the points between. *IEEE Cloud Computing*, 4(5):12–14, 2017.
- [34] Liu, Y., Agarwal, S. and Venkataraman, S. Autofreeze: Automatically freezing model blocks to accelerate fine-tuning, 2021.
- [35] Maffort, C., Valente, M.T., Bigonha, M., Hora, A., Anquetil, N. and Menezes, J. Mining Architectural Patterns Using Association Rules. In *International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE'13)*, Boston, United States, June 2013.
- [36] Mistrik, I., Bahsoon, R., Ali, N., Heisel, M. and Maxim, B. *Software architecture for Big Data and the cloud*. Morgan Kaufmann, Oxford, England, June 2017.
- [37] Morris, K. *Infrastructure as code*. O'Reilly Media, Location, 2023.
- [38] Niu, C., Li, C., Ng, V., Ge, J., Huang, L. and Luo, B. Spt-code: Sequence-to-sequence pretraining for learning source code representations. In *Proceedings of the 44th International Conference on Software Engineering, ICSE '22*, pp. 2006–2018, New York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery.
- [39] Opdebeeck, R., Zerouali, A., Velázquez-Rodríguez, C. and De Roover, C. On the practice of semantic versioning for ansible galaxy roles: An empirical study and a change classification model. *Journal of Systems and Software*, 182:111059, 2021.
- [40] OpenAI. Gpt-4 technical report, 2023.
- [41] Pérez, Q., Borgne, A.L., Urtado, C. and Vauttier, S. Towards profiling runtime architecture code contributors in software projects. In *Proceedings of the 16th International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering (Enase)*, pp. 429–436. INS- TICC, SciTePress, 2021.
- [42] Radford, A., Wu, J., Child, R., Luan, D., Amodei, D., Sutskever, I. et al. Language models are unsupervised multitask learners. *OpenAI blog*, 1(8):9, 2019.
- [43] Rahman, A., Mahdavi-Hezaveh, R. and Williams, L. A systematic mapping study of infrastructure as code research. *Information and Software Technology*, 108:65–77, 2019.
- [44] Salehinejad, H., Sankar, S., Barfett, J., Colak, E. and Valae, S. *Recent advances in recurrent neural networks*, 2018.
- [45] Savidis, A. and Savaki, C. Software architecture mining from source code with dependency graph clustering and visualization. In *Proceedings of the 17th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (VISI- GRAPP 2022) - IVAPP*, pp. 179–186. INS-TICC, SciTePress, 2022.
- [46] Schmidt, F., MacDonell, S.G. and Connor, A.M. An automatic architecture reconstruction and refactoring framework. In *International Conference on Software Engineering Research and Applications*, 2014.
- [47] Schuster, M. and Paliwal, K. Bidirectional recurrent neural networks. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 45(11):2673–2681, 1997.
- [48] Sehovac, L. and Grolinger, K. Deep learning for load forecasting: Sequence to sequence recurrent neural networks with attention. *IEEE Access*, 8:36411–36426, 2020.
- [49] Sharma, A., Kumar, M. and Agarwal, S. A complete survey on software architectural styles and patterns. *Procedia Computer Science*, 70:16–28, 2015. Proceedings of the 4th International Conference on Eco-friendly Computing and Communication Systems.
- [50] Shrestha, A. and Mahmood, A. Review of deep learning algorithms and architectures. *IEEE Access*, 7:53040–53065, 2019.
- [51] Siow, J.K., Liu, S., Xie, X., Meng, G. and Liu, Y. Learning program semantics with code representations: An empirical study. In *2022 IEEE International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (Saner)*, pp. 554–565, 2022.
- [52] Smite, D., Moe, N.B., Levinta, G. and Floryan, M. Spotify guilds: How to succeed with knowledge sharing in large-scale agile organizations. *IEEE Software*, 36(2):51–57, 2019.
- [53] Taibi, D., El Ioini, N., Pahl, C. and Niederkofler, J.R.S. Serverless cloud computing (function-as-a-service) patterns: A multivocal literature review. In *Proceedings of the 10th International Conference on Cloud Computing and Services Science (Closer'20)*, 2020.
- [54] Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gómez, A.N., Kaiser, L. and Polosukhin, I. *Attention is all you need*, 2017.
- [55] Wan Mohd Isa, W. A. R., Suhaimi, A. I. H., Noordin, N., Harun, A., Ismail, J. and Teh, R. Cloud computing adoption reference model. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 16:395, 10, 2019.
- [56] Wang, Y., Wang, W., Joty, S. and Hoi, S. C. H. Codet5: Identifier-aware unified pre-trained encoder-decoder models for code understanding and generation, 2021.
- [57] Washizaki, H., Ogata, S., Hazeyama, A., Okubo, T., Fernández, E.B. and Yoshioka, N. Landscape of architecture and design patterns for iot systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(10):10091–10101, 2020.

- [58] Zeng, C., Yu, Y., Li, S., Xia, X., Wang, Z., Geng, M., Xiao, B., Dong, W. and Liao, X. *Degraphcs: Embedding variable-based flow graph for neural code search*, 2021.
- [59] Zhang, J., Wang, X., Zhang, H., Sun, H., Wang, K. and Liu, X. A novel neural source code representation based on abstract syntax tree. In *2019 IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering (ICSE)*, pp. 783-794, 2019.
- [60] Zhang, X., Fan, J. and Hei, M. Compressing bert for binary text classification via adaptive truncation before fine-tuning. *Applied Sciences*, 12(23), 2022.
- [61] Zhuang, F., Qi, Z., Duan, K., Xi, D., Zhu, Y., Zhu, H., Xiong, H. and He, Q. A comprehensive survey on transfer learning. *Proceedings of the IEEE*, 109(1):43–76, 2021.

El hombre que amaba los perros: entre la historia y la literatura

The man who loved dogs: Between history and literature

JOSÉ CAMILO VÁSQUEZ CARO

Director del Departamento de Humanidades e Idiomas de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

jose.vasquez@escuelaing.edu.co

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

El límite entre la literatura y la historia es poroso. Ambas disciplinas narran, relatan e interpretan sucesos, momentos y experiencias, sean estos ficticios o no. Las dos comparten el tema de los puntos de enunciación –precisos y propios–, del narrar que construyen y de los contextos en los que surgen. El juego de la perspectiva es una constante en el ejercicio del narrar, pensando para quién y por qué se narra. Tal vez la gran diferencia disciplinar radica en que una tiene más libertad en el narrar porque no es necesario que lo que se escriba sea del todo real, veraz y verificable. La literatura no tiene que limitarse a lo fantástico, puede ir y venir entre lo vivido y lo soñado. La historia, como ciencia social, intenta dar cuenta de una forma rigurosa –no me atrevo a decir del todo objetiva– de un fenómeno del pasado visto desde un presente.

Desde hace algunos años, al recorrer los estantes de diferentes librerías, comerciales y masivas, me he encontrado con el género de la novela histórica. Claro, los libreros lo catalogan dentro del campo de la literatura y eso está bien, pero le sale una segunda identidad

al género, una identidad que surge precisamente de esa zona porosa del límite, de la fertilidad de lo distinto y lo híbrido. Esta literatura nace del acontecimiento histórico, de personajes reales, y de ahí viaja en cualquier dirección, con la libertad que le da la misma literatura. La novela histórica tiene elementos del pasado, pero no se debe leer como una lectura académica y científica del pasado. Es en este punto donde el lector ha de ser consciente de que lo que le cae en las manos es literatura, pero que evoca la historia y coquetea con ella. En ese pacto silencioso entre lector y obra, es importante que el lector no crea como verdad histórica absoluta lo que la literatura narra.

Ahora, tanto la literatura como la historia se mueven en diversos ámbitos, y la academia, con cierta pretensión de objetividad metódica, es uno de ellos; las reglas de juego en cada una de las disciplinas académicas varían, pero está claro que no todo texto que se autodenomina historia o literatura cumple con los requisitos de lo académicamente aceptado. También vale la pena señalar que el público académico es una población pequeña

dentro del amplio público de todos los lectores. Y esto me conduce a preguntas que no logro responder en forma adecuada. ¿Para quién se escribe la historia y para quién la literatura? ¿Con qué propósito se escribe en estas disciplinas? ¿Es relevante cómo categoricemos y organicemos estos textos? ¿Tiene más peso un libro de historia académicamente validado o una novela histórica que muchos leen? ¿Qué rol cumple un texto de novela histórica en la elaboración de una memoria amplia y colectiva en el contexto de un presente dado?

Llego, entonces, al punto de inicio de reflexión e interpretación de este escrito. Me interesa ver cómo coinciden la historia y la literatura en la novela *El hombre que amaba los perros*, del escritor cubano Leonardo Padura. He leído esta novela dos veces: la primera hace unos años, en el mundo prepandemia, y hace pocos días terminé la segunda. La lectura no es la misma. La novela no ha cambiado, pero yo sí, y esto me demuestra que es aún más complejo el tema de la interpretación y la lectura que se mencionó anteriormente, el contexto y el lugar de enunciación, no solo de quien escribe sino de quien lee. El libro me lo regaló mi amigo David, con quien estudié historia y quien con cierta jocosidad siempre me ha sugerido que lo mío es la literatura.

Voy a empezar por destacar un poco la estructura narrativa de la obra, compuesta por tres voces principales y una cuarta voz que se revela al final. No entraré a discutir la cuarta voz, porque no quiero que el lector sienta que le estropeo o daño la lectura. Las tres voces narrativas giran en torno a los tres personajes principales de la novela: Trotski, Mercader e Iván. Claro, las tres en algún momento se entrelazarán y veremos que incluso lo que parece irrelevante en nuestras historias tiene la posibilidad de hilarse y tejerse y demostrar que todo está conectado.

El asesinato de Trotski en México fue un acontecimiento histórico, no un simple hecho aislado e individual. La historia y la muerte de este político ruso, uno de los organizadores claves de la Revolución de Octubre, personifican la complejidad de diversas dinámicas políticas, tanto de la URSS como del mundo. En el periodo de entreguerras, el comunismo, el fascismo y las llamadas democracias liberales fueron el insumo para tensiones internacionales ante las expansiones ideológicas de los diferentes bandos. El giro que tomó el planeta en la década de los treinta fue muy complejo y condujo a la humanidad a enfrentamientos de magnitudes nunca

antes vistas. Si bien Trotski muere en el exilio y alejado del poder de la URSS, así como de los problemas que esta le causaba, su pluma y sus ideas continuaban movilizándolo a muchos actores, tanto individuales como masas, y su asesinato generó diversas reacciones.

En un primer plano, la historia que narra la novela es la de Trotski en el exilio, en ese proceso de convertirse en un ser desplazado, en medio de una Europa radicalizada e intolerante ante muchas ideas y posturas. Trotski se fue alejando —de manera obligada— del centro del poder, movido por fuerzas externas, pero aun así su pluma siguió vigente. Esta tensión entre el ser desplazado y a la vez agitador desde la palabra escrita nos conduce a un segundo plano, donde se narra la lucha de Trotski contra Stalin o de Stalin contra Trotski. Las historias narradas por Trotski son las historias silenciadas, las de los perdedores antagónicos de los victoriosos de la Revolución rusa. Stalin, en su política interna, purgó a la URSS y actuó en nombre de la Revolución y a favor de esta. Ambas voces antagónicas clamaron desde un lugar de superioridad moral ante el otro. La novela nos sugiere que la de Trotski fue clara y se reproducía en el papel, mientras que la de Stalin fue discreta, casi silenciosa, manifestada en acciones de terror político y humano.

La lucha de estos dos actores descomunales del siglo XX no es el único plano narrativo de la novela. El periodo de entreguerras, el ascenso del nazismo en Alemania, la Guerra Civil española y las tensiones entre las diversas interpretaciones de lo que debería ser el mundo —democracia liberal, fascismo y comunismo— se entrelazan como un telón de fondo histórico de la construcción narrativa.

Lev Trotski viajó por Europa. Ramón Mercader luchó en la Guerra Civil española y recorrió el Viejo Continente. Y es ahí, en esa guerra civil, donde se mezclan las tramas porque Ramón se vuelve un comunista fanático, entregado a la causa de la Revolución, y este es el giro definitivo que va a permitir que todo se entrelace. En él —genética y metafóricamente— están el Viejo Mundo, su padre y la industria, y el Nuevo Mundo, su madre, la herencia de Cuba y América y el amor por la Revolución. En este sentido, Ramón Mercader va a ser el punto de encuentro de todas las tramas de la novela, porque en él y en su historia están hiladas Europa y América.

Buscar la muerte de Trotski se convirtió en la vida de Ramón. Su razón de ser fue asesinar al traidor de la

Revolución en el momento en que lo ordenara Stalin. La historia cruza el océano, y Trotski llega a México en un barco a buscar refugio y hogar. Lev no se había permitido sembrar flores y matas en sus otros sitios de exilio, lujo y libertad que sí se dio en México. La novela no oculta lo obvio y Trotski muere a manos de Mercader. Este va a prisión y luego lo enviarán a la URSS. Ahí, este supuesto héroe revolucionario vivirá el resto de su existencia.

La salud de Mercader se deteriora. En los años setenta, hace viajes a Cuba, una Cuba adoptada por la URSS y abanderada por la Revolución. Ahí entra el último ingrediente, el escritor cubano, Iván y sus charlas en la playa con el hombre que amaba los perros. De esta forma, la novela nos transporta a la isla, a sus problemas y a sus dinámicas de finales del siglo XX.

No escribo más porque es justo leer la pluma de Padura y ver cómo él entrelaza la Europa de entreguerras con la Cuba de la década de los noventa. Mercader vuelve a la tierra de sus abuelos maternos y ahí se conectan dos momentos históricos, dos visiones de mundo, dos caminantes de la playa.

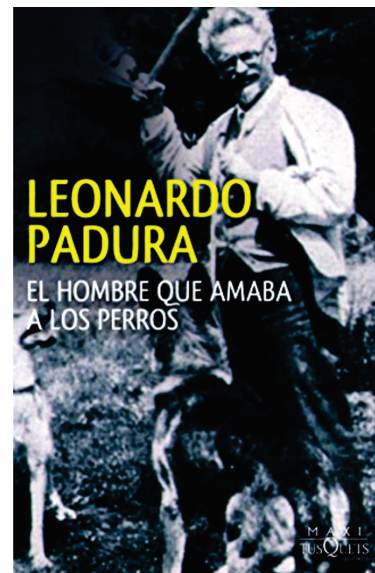
Vuelvo al comienzo, donde las tramas, las historias, los personajes, los espacios y, claro, la Historia —con su mayúscula— se entrelazan en este mundo literario. Si bien el escritor de novela no debe tener, necesariamente, el rigor del escritor académico de historia, vale la pena destacar que detrás de esta novela hay una investigación rigurosa y una familiarización profunda con el pasado. En el arte y el oficio de narrar existen puntos de encuentro entre las disciplinas, que nos permiten conectarnos con ciertos momentos y procesos del pasado desde nuestros presentes.

Padura es un narrador extraordinario. Como buen lector de novelas e historias, sabe que un elemento fundamental está en el hilar. Las historias que encontramos en su texto podrían ser historias autocontenidas e independientes, porque son lo suficientemente robustas en sí mismas. Hay desarrollo profundo de personajes, nos embarcamos en sus dilemas y sus conflictos; hay movimiento, interacción y planos. Pero lo que Padura hace de manera magistral es conectar los puntos —precisamente por medio de la pluma de un escritor—, demostrando con la narrativa que nada en este mundo está desarticulado.

Por más absurdo que parezca, la novela nos demuestra que lo que aparenta no tener ninguna relación con

nada, de una forma u otra lo tiene con todo. Y acá hay una postura filosófica interesante, pues el todo está en todo. En la narrativa de Padura no hay hechos aislados en la trama, cada acontecimiento y cada personaje tienen su razón de ser, y solo después de leer el lector puede hacer el clic de la conexión. Todo encaja. Como lector quedo fascinado, porque el complejo y disruptivo siglo XX tiene una unión poética en este libro. Los hilos de procesos globales se unen con los hilos de historias de vida particulares. En lo general, entonces, está también lo particular.

Pero lo que más me llevó en mi propia lectura es esa conexión con el *Quijote* y la novela moderna. Claro, no es accidental que en las letras de Padura esté ese viejo recurso de escribir, porque me encontré una gran historia escrita por otro. En la escritura estamos, somos efímeros, pero queda nuestra huella, y como en la historia, somos el desenlace de un tejer.



REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

Alcance y política

El objetivo de la *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* es difundir artículos técnicos que contribuyan al desarrollo del país a través de una publicación con alta calidad editorial y rigor científico.

La revista acepta prioritariamente los siguientes tipos de trabajos, que le permiten mantener su categorización:

1. **Artículo de investigación científica y tecnológica.** Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.
2. **Artículo de reflexión.** Documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.
3. **Artículo de revisión.** Documento producto de una investigación donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica.

También admite artículos de las siguientes tipologías:

4. **Artículo corto.** Documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren una pronta difusión.
5. **Reporte de caso.** Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular, con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico.
6. **Revisión de tema.** Documento resultado de la revisión crítica de la bibliografía sobre un tema en particular.

Cabe destacar que se privilegian para la revista los tipos de artículos de los numerales 1, 2 y 3.

La revista circula trimestralmente y recibe sólo artículos inéditos. Los trabajos recibidos se someten al concepto de pares académicos y del Consejo Editorial.

Requisitos para la publicación de artículos

Los artículos presentados a la revista deben remitirse por correo electrónico a revista@escuelaing.edu.co, adjuntando los siguientes formatos debidamente diligenciados: autor.doc, clasificación.doc y tipo.doc, cuyos archivos se pueden descargar de <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>. En este mismo sitio está disponible la plantilla guía que contiene la estructura determinada por la revista para los artículos.

Scope and policy

Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería disseminates technology articles helping to our country development. It emphasises on its high quality print and its scientific rigour. Articles submitted for publication shall be classified into one of the following categories— which allow it keeps its indexation:

1. **Scientific and technological research article.** These documents offer a detailed description about the original findings of research projects. In general, the usually used structure contains four important sections: introduction, methodology, results and conclusions.
2. **Reflection article.** These documents present the results of a research project on a specific, interpretative, or critical view by the author about a particular topic by using original sources.
3. **Review.** A document resulting from a finished research, where the published and/or unpublished findings of investigation in a particular field of science or technology are analysed, systematised and integrated to report the progress and the development tendencies. These documents include a careful bibliographic review.

Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería also accepts the following types of articles:

4. **Short article.** A brief text presenting the original, preliminary and/or partial results of a scientific or technological study, which normally need to be disseminated as quickly as possible.
5. **Case report.** A document that presents the results of a study on a specific situation in order to report the technical and methodological experiences considered in a particular case.
6. **Thematic review.** These documents are the product of a critical review of literature on a particular topic.

Our revista privilege articles as the highlight ones in numbers 1, 2 and 3.

Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería is a quarterly publication that only accepts unpublished articles. The revista submits all the papers to the verdict of two academic peers, who evaluate the article.

Ruling for publication

The article must be sent by e-mail to revista@escuelaing.edu.co with 3 files attached: Author.doc, Classification.doc and Type.doc available in <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>. There is also a template guide for the structure of the article (template guide.doc).

