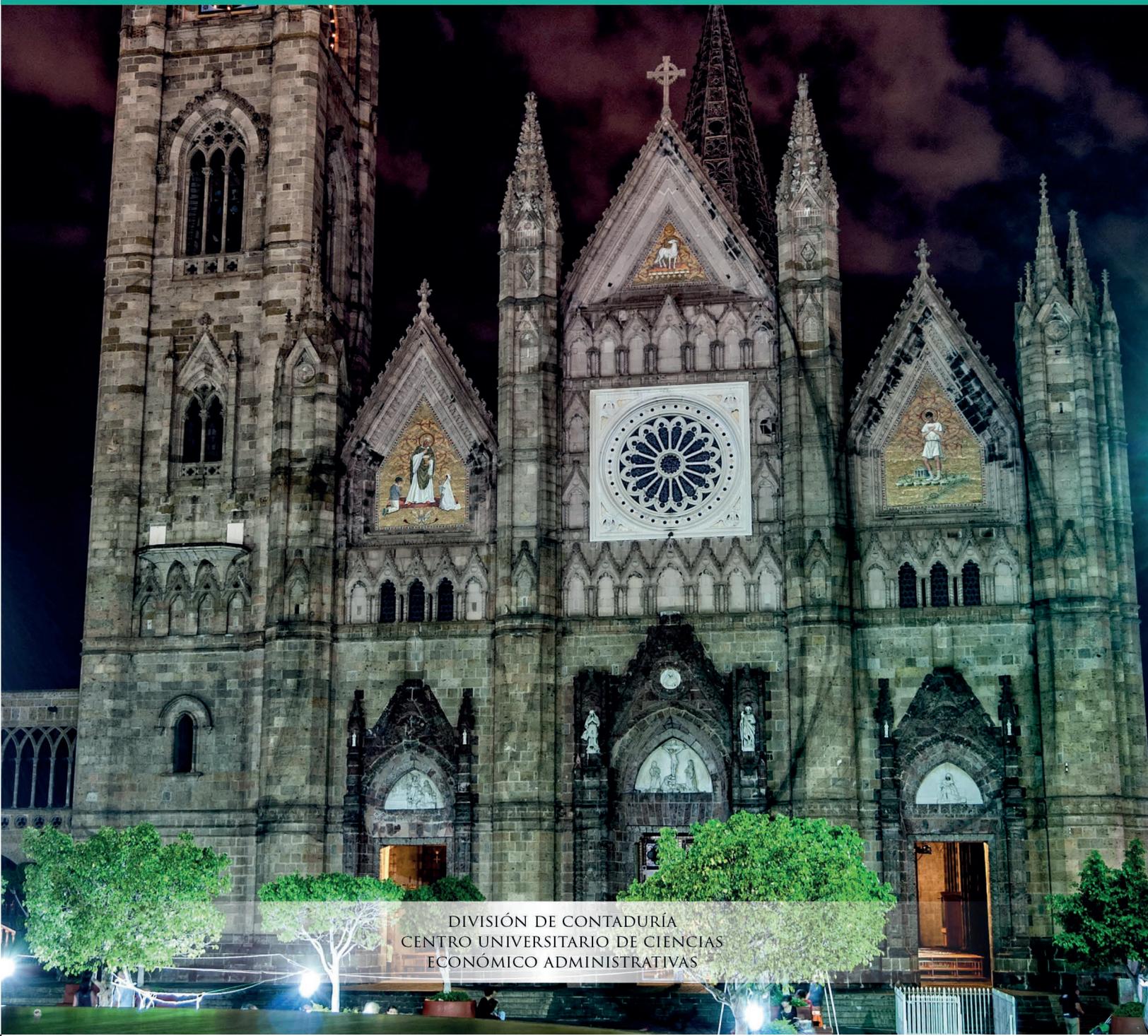




UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Diagnóstico FACIL Empresarial, Finanzas,
Auditoría, Contabilidad, Impuestos, Legal



DIVISIÓN DE CONTADURÍA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS
ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS

Directorio

Director de la Revista

Dr. Cristian Omar Alcantar López
Universidad de Guadalajara (México)

Editor Responsable

Dr. Gerardo Flores Ortega
Universidad de Guadalajara (México)

Corrector de Estilo

Mtro. Miguel Ángel Serrano Núñez
Universidad de Guadalajara (México)

Diseño de Portada

Lic. Daniel García Arellano
Universidad de Guadalajara (México)

Consejo Editorial Interno

Dr. Francisco de Jesús Mata Gómez
Universidad de Guadalajara (México)
Dr. Javier Ramírez Chávez
Universidad de Guadalajara (México)
Dr. Alejandro Campos Sánchez
Universidad de Guadalajara (México)
Dr. José Trinidad Ponce Godínez
Universidad de Guadalajara (México)

Consejo Editorial Externo

Internacionales

Dr. Ricardo José María Pahlen Acuña
Universidad de Buenos Aires (Argentina)
Dr. Francisco Borrás Atiénzar
Universidad de La Habana (Cuba)
Dra. Begoña Prieto Moreno
Universidad de Burgos (España)
Dra. Ana de Dios Martínez
Universidad de Camagüey, (Cuba)

Consejo editorial

Dra. Leticia Ortiz Torricos
Universidad Autónoma Gabriel René Moreno (Bolivia)
Dra. Cecilia Rita Ficco
Universidad Nacional de Río Cuarto (Argentina)
Dr. Ricardo Alonso Colmenares Flórez
Corporación Universitaria U de Colombia (Colombia)
Dr. Victor Dante Ataupillco Vera
Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Peru)
Dr. Gonzalo Wandosell Fernández de Bobadilla
Universidad Católica de Murcia (España)
Dra. Cleofé Maritza Verástegui Corrales
Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Peru)

Nacionales

Dr. Isaac Leobardo Sánchez Juárez
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (México)
Dr. Jesús María Martín Terán Gastelúm
Universidad Estatal de Sonora (México)
Dr. José Manuel Osorio Atondo
Universidad Estatal de Sonora (México)
Dr. Oscar González Muñoz
Universidad Veracruzana (México)
Dr. Juan Manuel Ortega Maldonado
Universidad Autónoma de Morelos (México)
Dra. Leticia María González Velasquez
Universidad de Sonora (México)
Dr. Oscar Bernardo Reyes Real
Universidad de Colima (México)
Dr. Jerónimo Ricárdez Jiménez
Universidad Veracruzana (México)
Dra. Aurea Arellano Cruz Instituto
Universidad de la Sierra Sur (México)
Dr. Juan José García Ochoa
Universidad de Sonora (México)
Dr. Saulo Sinforoso Martínez
Universidad Veracruzana (México)

Sistema Case-Based Reasoning, herramienta para calcular costos más exactos en constructoras jaliscienses

Case-Based Reasoning System, a tool to calculate more accurate costs in Jalisco construction companies

Fecha de recepción: 06/05/2024
Fecha de revisión: 13/05/2024

Fecha de aceptación: 24/06/2024
Fecha de publicación: 27/09/2024

Paul Ricardo Felix Trujillo [Investigación]. Universidad de Guadalajara/Jalisco/México | Felix-p@hotmail.com | <https://orcid.org/0009-0008-8782-93501>. Ana Isabel Barocio Torres [Investigación y metodología]. Universidad de Guadalajara/Jalisco/México | anabarociot@ucea.udg.mx | <https://orcid.org/0000-0001-7681-3970>. Ingrid Georgina Claire Torres [Investigación y metodología]. Universidad de Guadalajara/Jalisco/México | ingrid.claire@academicos.udg.mx | <https://orcid.org/0000-0002-5672-6412>

Resumen

Ejecutar un proyecto es algo habitual para cualquier tipo de empresa dedicada a la construcción. Presupuesto y tiempo son los principales elementos que se establecen en un proyecto de construcción; todo sistema que permita una estimación más acertada de cualquiera de estos se vuelve una ventaja competitiva decisiva, que ayuda a la empresa a tener una mejor administración de obra en las primeras etapas al reflejarse a lo largo del proyecto. En este documento el objetivo es utilizar el sistema Case-Base Reasoning (CBR), como herramienta para estandarizar precios, computarizar procesos en cálculo de estimaciones de obra y obtener costos más exactos. La cantidad de variables en la metodología forman una herramienta más práctica para evaluar los costos que se dirigen a cada aspecto de la construcción.

La automatización de los procesos relacionados con la gestión de costos de obra garantiza resultados más precisos, con base en la cuantificación de los elementos en el proyecto para elaborar presupuestos de construcción, y obtener los datos que utilizan en este estudio: por medio del sistema CBR.

Palabras clave: Sistema, Herramienta, Calcular, Costos y constructoras.

Clasificación: C81, M1, L74

Abstract

Executing a project is common for any type of company dedicated to construction. Budget and time are the main elements established in a construction project, any system that allows a more accurate estimate of any of these becomes a decisive competitive advantage, which helps the company to have better construction management in the early stages as it is reflected throughout the project. In this document, the objective is to use the Case-Based Reasoning (CBR) system as a tool to standardize prices, computerized processes for calculating work estimates, and obtain more accurate costs. The number of variables in the methodology forms a more practical tool to evaluate the costs that are directed to each aspect of construction.

The automation of processes related to construction cost management guarantees more precise results, based on the quantification of the elements in the project to prepare construction budgets, and obtain the data used in this study: through the CBR system.

Palabras Clave: System, Tool, Calculate, Costs and Construction Companies

Classification: C81, M1, L74

Introducción

Realizar un proyecto es algo usual para cualquier tipo de empresa dedicada a la construcción, puede definirse como una serie de actividades que están enfocadas a cumplir con un objetivo específico dentro de un presupuesto y un tiempo preestablecido. Estos son los principales elementos que condicionan un proyecto, toda herramienta que permita una estimación más acertada de cualquiera de estos, se vuelve una ventaja competitiva decisiva, que ayuda a la empresa a tener una mejor administración de obra en las primeras etapas reflejándose a lo largo del proyecto.

La exactitud en la estimación de una obra es producto derivado de la pericia y experiencia que el profesional adquiere a través de los años, sin embargo, esta habilidad es difícil de evaluar al hacer de ésta un factor relativo, que puede poner en riesgo al proyecto tanto en costos como en tiempo. Para tratar este punto es esencial utilizar las tecnologías de la información y optimizar así la ejecución de los proyectos tales como la evaluación de riesgos, selección de activos y estimación de costos.

Utilizar una de las últimas herramientas que hoy en día calculan costos con mayor exactitud, como el sistema Case-Based Reasoning (CBR), objetivo de esta investigación, específicamente en proyectos residenciales en el estado de Jalisco. En este documento, se elaboran cédulas de los métodos de estimación, que se han utilizado en los últimos años y se enfocan principalmente en la última generación de éstos, conocidos como sistemas basados en inteligencia artificial o sistemas inteligentes. El propósito es generar una ventaja competitiva, al presentar una herramienta en la industria de la construcción, para obtener costos más exactos en obra, en etapas preliminares del proyecto, dentro de un mercado competido como son los proyectos de vivienda de alto valor.

Planteamiento del problema

La problemática de las empresas enfocadas en la construcción tiene la necesidad de realizar presupuestos por cada obra civil que llevan a cabo. Un presupuesto es una estimación de los costos y gastos calculados a futuro para el proyecto, estas estimaciones dan información aproximada, más no real, sobre las utilidades, inversiones y riesgos que permiten tomar mejores decisiones como modificar diseños, cambiar materiales o incluso evitar proyectos no rentables.

La industria de la construcción sufre una constante fluctuación en los precios y gastos que interfieren enormemente con la estructura financiera de este tipo de empre-

sas. Desde la mano de obra hasta los costos de los materiales tienden a oscilar sus valores a lo largo de un proyecto constructivo debido a ciertas variables, las cuales se tienen que analizar para entender qué tanto influyen y cómo afectan en el precio final. Peleskey, Dorca y Munteanu (2015) exponen casos destacados acerca del problema que se tiene en la estimación de costos en la industria constructora.

La pregunta de investigación es: ¿Cómo calcular el costo de construcción más exacto en una estimación de obra a través del sistema CBR? En la actualidad, las empresas de construcción siguen en la búsqueda de nuevos métodos y/o procesos a través de programas de computación que ayudan a realizar presupuestos más precisos (Ma, Liu, & Wei, 2016), que les permita ajustar costos, obtener más contratos, ganar más concursos, pero, sobre todo, crear una ventaja competitiva frente a la competencia y que, en este caso, con base en una estructura financiera efectiva, con la finalidad de reducir riesgos financieros. La experiencia acumulada de los profesionistas especializados en el cálculo y estimación de costos es clave en la precisión de presupuestos de obras de construcción hasta la fecha (Ma, Liu, & Wei, 2016). Sin embargo, conseguir recurso humano con esta capacidad es un privilegio que todas las empresas pueden alcanzar, por lo cual se espera que el desarrollo en tecnologías de información mejore la eficiencia a través de la especificación de costos en programas computacionales (Ma, Wei, y Zhang, 2013) (Hwang, 2011).

De lo anterior se plantea que el objetivo de la investigación es utilizar el sistema CBR como herramienta para estandarizar precios, computarizar procesos en cálculo de estimaciones de obra y obtener costos más exactos. Con base en la hipótesis donde el sistema CBR es útil en la estimación de costos de construcción en un proyecto de obra, como modelo matemático idóneo para calcular valores con elementos estandarizados, y así poder generar presupuestos de obra más rápidos y exactos.

Metodología

El tipo de investigación del documento está orientado a la investigación experimental, ya que un sistema de estimación innovador como es el caso del método CBR, brinda herramientas favorables para la manipulación de las variables que se encuentran dentro de una estimación de obra, en cuyo caso son los materiales y los respectivos valores en relación con el costo final de la obra residencial.

Al ser una investigación relacionada en la utilización de sistemas inteligentes que a su vez se apoyan en datos estadísticos, la investigación está orientada a la metodología

cuantitativa al hacer mediciones realizadas con diferentes sistemas entre las variables encontradas en la estimación (costo de materiales) y la correlación con el precio final de la obra, sin embargo, debido a las diferentes escalas que puede tomar dicha investigación es necesario proponer alcances y límites en la investigación que puede dar como efecto el crear generalidades en resultados.

Debido a los diversos enfoques que tiene la industria de la construcción, la investigación se enfoca en utilizar la metodología CBR para la estimación de costos en el área residencial. Uno de los motivos por lo que se selecciona el caso residencial es tener la oportunidad de usar los datos recaudados durante el trayecto profesional y experiencia propia, además de ser versado en dicha área de la industria. Para obtener datos más concretos, la investigación está limitada a casos y muestras tomadas de casas residenciales localizadas en la zona residencial Valle Real ubicada en Zapopan, Jalisco, dicha información es proporcionada por una empresa que por temas de privacidad será anónima.

Alcance: Casas residenciales localizadas en la zona residencial Valle Real, ubicadas en Zapopan, Jalisco.

Tiempo: últimos 10 años, 2013 al 2023.

Elementos: Construcciones dentro de la zona residencial Valle Real catalogadas según el tipo de suelo como casa unifamiliar de densidad baja, código H2-U, de acuerdo los planes parciales de desarrollo urbano del distrito 4 “La Tuzania” de Zapopan.

Unidades de muestreo: Nueve bases de datos con información de costos en materiales e insumos, organizadas cronológicamente de nueve casas residenciales ubicadas en la zona residencial Valle Real.

El instrumento de medición más pertinente para el tipo de investigación es la escala de proporción, también conocida como escala de razón, ya que los datos a analizar son numéricos, como las variables de precio, costo, volumen y cantidad. Por otro lado, la metodología de CBR clasifica y estandariza conceptos a analizar dentro de la base de datos, en el caso del proyecto residencial se realiza la escala nominal para asignar a los materiales u otros insumos de construcción la clasificación para posteriormente realizar la escala de proporción para comparar los volúmenes y precios de los mismos materiales ya clasificados entre las diferentes muestras que en este caso son viviendas unifamiliares localizadas en la zona residencial de Valle Real.

Una vez reunida la información necesaria, se comienzan a extraer los datos de mayor interés. Para esta investigación se condensan los presupuestos en ocho clases: diseño, licencias, permisos y seguro social, vigería, materiales de obra negra, mano de obra (negra y gris), desde ci-

mentación hasta planta baja, mano de obra (negra y gris), desde planta alta hasta azotea, materiales y muebles de acabados, mano de obra de acabados y costo del terreno.

Desarrollo

La técnica para llevar a cabo un control de estos costos varía según el tipo de empresa y del servicio o productos que ésta ofrece, en el caso de las empresas constructoras se pueden identificar tres grandes etapas de control: planeación, construcción y vida útil.

La planeación consiste en los procesos y actividades que se deben realizar antes de llevar a cabo la obra, como son las fases de investigación, diseño, coordinación, licitación y contratación.

La construcción es la segunda etapa, en donde se trabaja directamente en el terreno; va desde la cimentación hasta los acabados finales de la construcción.

En la tercera etapa de vida útil del proyecto se enfoca en la administración, donde se garantiza que los equipos e instalaciones de la construcción funcionen debidamente para la presentación del proyecto finalizado.

Como apoyo en las investigaciones de Ahiaga-Dagbui & Smith (2014), se deduce que para el desarrollo de una estimación de costos de construcción es necesario identificar determinados parámetros que se encuentran dentro de un proyecto. Estos factores pueden ser clasificados en dos grupos: factores específicos del estimador y factores específicos del proyecto.

Factores específicos del estimador

La persona que realiza la estimación puede ser tanto el contratista como el propietario o incluso el consultor. Dicho estimador toma decisiones con base en la experiencia, estudios, prácticas del lugar de procedencia e incluso en intereses, los cuales pueden influir en minimizar costos o maximizar ganancias, no siempre está encaminada hacia el verdadero objetivo del proyecto. Por esta razón se debe mantener una objetividad en la práctica, y el análisis se debe orientar en los factores específicos del proyecto.

Factores específicos del proyecto

Como su nombre lo indica, estos factores están directamente relacionados con las características que tiene el proyecto en cuestión: tamaño del proyecto, tipo de proyecto, condiciones del suelo, tipo de cliente, costos de material,

alcances de cambios y diseños, duración del proyecto y método de licitación.

La estimación en los costos de construcción es una de las prácticas más críticas, tanto previo como durante el proyecto; dicha predicción suele cumplir dos labores principalmente: convencer y dimensionar el proyecto. (Ji, Park, & Lee, 2011), se menciona precisamente que dicha labor de convencer a los distintos actores en la construcción (desde directivos hasta ingenieros a cargo), ha hecho de la elaboración de presupuestos un área muy prolífica para la revisión y desarrollo en la industria. Asimismo, el trabajo del presupuesto es un elemento que permite aterrizar al proyecto en la realidad y listar tanto sus elementos como factores que tienen el potencial de afectar; se consigue información rica tanto para el inicio como en el desarrollo del proyecto.

Por lo cual es importante conocer algunas de las dificultades más comunes para elaborar el presupuesto y que se describen en la literatura. Ahiaga-Dagbui & Smith (2014), enlistan algunas de ellas y resumen que en su conjunto dichos obstáculos suelen ser agrupables

- Problemas relacionados con la variación. Al realizar el cambio y modificaciones frecuentes en cualquier proyecto, dichos autores las describen de las siguientes formas:
 - Aquellas que dependen de actores directos en la construcción. Ejemplos: errores técnicos e incompetencia gerencial.
 - Aquellos que son el resultado de múltiples variaciones y cambios que no son totalmente con-

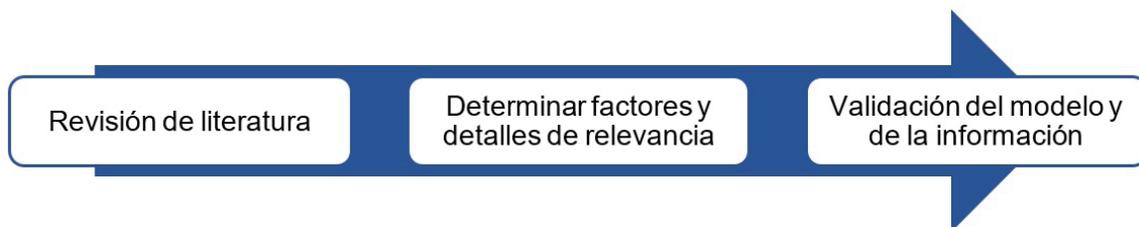
trolables por los planeadores. Ejemplos: riesgo e incertidumbre propios de la economía, juego sucio y corrupción.

- Parcialidad/prejuicio. Dada la información irreal o delirios por parte de distintos actores, se puede llevar a ser demasiado positivos con el presupuesto o a distintos fenómenos de imprecisión

Shin, Y. (2015), señala que uno de los más grandes obstáculos –que en su caso aborda a través de una *boosting* regresión *tree*– es la capacidad de generalizar la información que se tiene y de conseguir tener una decisión complementaria al algoritmo o técnica de presupuestos elegida. Lo anterior, con el propósito de facilitar el determinar otros costos de estimación, recolectar aún más información y sobre todo realizar una evaluación del rendimiento, para así reducir los riesgos financieros

Finalmente, Elfaki, A. O., Alatawi, S., & Abushandi, E. (2014); sugieren que las investigaciones en el área de generación de presupuestos se inclinan a promover estos de forma sistémica, integración de técnicas diversas, hacer uso de ejemplos reales, puntos de referencia y estandarización de procesos. Karanci, H. (2010), y otros autores sugieren que dicha inclinación sea efectuada a través del sencillo esquema de realizar una revisión literaria primaria, seguida de la determinación de los elementos-detalles más importantes para el proyecto, y al haber logrado una conclusión, validar la información obtenida de preferencia la más conveniente para el proyecto o la más efectiva, para su uso futuro.

FIGURA 1 ESQUEMA BÁSICO PARA MINERÍA DE DATOS EN LA ELABORACIÓN DE PRESUPUESTO



Fuente: Elaboración propia

Lo presentado anteriormente permite observar que ante la oportunidad del uso de minería de datos en la construcción surge un número sumamente rico de propuestas, necesidades e intereses para el análisis de la información presupuestaria en esta área de construcción en concreto caso residencial, así como una gran cantidad de desafíos en ella. Por lo cual en esta investigación con el sistema CBR se pretende automatizar los cálculos de costos de construcción más exactos.

Sistema de información

“Se refiere a un conjunto ordenado de mecanismos que tienen como fin la administración de datos y de información, de manera que puedan ser recuperados y procesados fácil y rápidamente” (Equipo editorial, Concepto, 2021).

Al hacer uso de las nuevas tecnologías de la información, se facilita en gran medida la captura de información en la base datos, así como la aplicación en procesos que

ayuda a analizar con el fin de implementar mejoras, como es el caso de efectuar presupuestos de manera eficiente.

Sistema CBR. Es una técnica utilizada en las tecnologías de información que consiste en la solución de problemas con base en la experiencia previa, es decir, casos análogos, los cuales son capturados en la base de datos, para ser procesados y aprovechar de esa manera los conocimientos e información que se obtienen en proyectos previos, al permitir que profesionales resuelvan los problemas, sin la necesidad de ser un experto en dicho tipo de proyectos.

“El problema empieza a generarse cuando la persona que debe tomar las decisiones no tiene la experiencia suficiente o no conoce a profundidad sobre el caso en cuestión, lo que origina que se tomen decisiones poco acertadas. Otro problema común que sucede en la industria de la construcción es que cuando se obtiene el aprendizaje nuevo y al resolver un problema mediante la experiencia, dicho aprendizaje se queda únicamente en la mente de la persona o del grupo que lo resolvió, lo que origina que ante la ausencia de dicha persona o grupo con esa experiencia, se tenga que replantear el problema como si fuera nuevo, es decir, existe un retroceso en el aprendizaje de los problemas lo cual resulta costoso para la organización.

“El CBR permite solucionar un problema nuevo sin partir de cero, es decir, se aprovecha las experiencias previas. A quienes tienen experiencia, el CBR les permite proponer soluciones más satisfactorias y los que carecen les permite proponer soluciones conociendo de antemano que es lo que ya se ha hecho previamente con respecto al problema en cuestión” (Cruz, 2013),

Resultados

A continuación, se muestran las propiedades de cada uno de los dos proyectos para posteriormente exponer los generadores de obra, que son los números obtenidos gracias a la cuantificación de los elementos en el proyecto para elaborar un presupuesto de construcción, y obtener los datos que utilizan en este estudio: por medio del sistema CBR..

La cantidad de variables en la metodología forma una herramienta más práctica para evaluar los costos que se dirigen a cada aspecto de la construcción. Con los datos ya agrupados, se obtiene la siguiente tabla:

TABLA 1. EXTRACCIÓN DE CLASES POR GENERADOR DE OBRA

Nombre del proyecto	Diseño, licencia permisos y S.S.	Planta baja	Planta alta	Viguería P.B./P.A.	Materiales (obra negra)	Materiales y muebles (acabados)	Mano de obra (acabados)	Costo del terreno
Las Rosas No. 13	151,548	123,353	92,178	92,230	238,675	340,925	548,747	1,773,988
Las Rosas No. 23	170,599	159,978	115,145	126,894	238,320	391,190	615,650	1,740,290
P. San Arturo No. 400	301,561	297,810	180,560	247,403	672,910	1,455,100	1,155,250	3,630,550
Casa San Arturo No. 3044	241,959	231,125	188,440	196,382	401,850	1,323,600	1,004,700	3,786,750
C. San Gmo No. 369	348,730	342,450	262,090	306,582	733,950	1,793,330	1,805,870	6,114,640
R. San Gmo No. 447	292,868	237,455	172,025	263,847	531,375	1,399,900	1,011,700	3,789,104
C. San Gmo No. 400	489,020	612,040	244,780	614,541	1,482,316	2,371,883	3,145,550	7,151,200
C. San Gmo No. 455	430,564	342,450	262,090	306,582	733,950	1,736,229	1,805,870	5,395,875
C. San Alfonso No. 2093	442,598	342,450	262,090	306,582	733,950	2,401,924	1,868,020	6,006,250

Fuente: Elaboración propia

Al terminar con la clasificación de los datos de acuerdo con las necesidades, se comienza con el análisis estadístico, para evaluar la relación que se tiene entre cada una de estas clases con el costo final del proyecto. Para encontrar la relación de estas clases se emplea el modelo matemático conocido como regresión lineal.

Esta herramienta se utiliza para analizar la relación que se tiene entre una variable dependiente con otras variables explicativas, estas últimas tienen parámetros que medirán la influencia de la variable en la ecuación. El modelo se expresa de la siguiente manera:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \epsilon$$

Y = La variable dependiente.

β = Es el parámetro que determina el peso o la influencia que tiene una variable explicativa frente a la variable dependiente.

x_n = Las variables explicativas.

ϵ = Este término se utiliza para agregar el factor de error en la variable, será la diferencia entre el valor real de la variable dependiente y el valor conjeturado por el modelo matemático.

Con base en esta ecuación se puede realizar modelos propios matemáticos con dos objetivos particulares: encontrar el grado de relevancia que tiene las ocho clasificaciones propuestas que forman parte del generador de obra con el precio final del proyecto, encontrar la relación que tiene cada una de estas clasificaciones con una clase en particular del que se tiene conocimiento previo a la realización del presupuesto, que en este caso es el costo del terreno.

Costo del proyecto

$$\begin{aligned} &= \text{constante}(\text{magnitud})(\text{Diseño, licencias, permisos}) \\ &+ (\text{magnitud})(\text{viguería}) + \dots + (\text{magnitud})(\text{mano de obra de acabados}) \\ &+ (\text{diferencia real}) \\ \text{viguería} &= \text{constante}(\text{magnitud})(\text{Costo del terreno}) + (\text{diferencia real}) \\ \text{materiales} &= \text{constante}(\text{magnitud})(\text{Costo del terreno}) + (\text{diferencia real}) \\ \text{mano de obra} &= \text{constante}(\text{magnitud})(\text{Costo del terreno}) + (\text{diferencia real}) \end{aligned}$$

Al establecer los modelos, el siguiente paso es llevar a cabo el proceso estadístico. En los modelos estadísticos, como en la regresión en este caso, se utiliza el valor P para considerar que los resultados del muestreo son estadísticamente significativos, ya que los datos son extraídos de la muestra, estos pueden arrojar resultados productos del azar y causar una interpretación errónea durante el análisis. El valor P debe cumplir con la condición de ser el valor menor al nivel de significancia que se impone en la prueba

para evidenciar la correlación entre las variables que se encuentran dentro del modelo.

En los modelos de regresión se evalúa, si una o más variables (variable independiente), influyen de manera significativa el resultado de otra variable (variable dependiente), a través del grado de significancia que se propone para dicho modelo, este grado puede ser un valor que desee usar el usuario entre 0 y 1, entre menor sea el valor, menor margen de error es permitido en la experimentación. El valor P usado por lo general para temas estadísticos es de .05, que significa que el 95% de las veces que se realice este experimento se obtendrá dicho resultado, siempre y cuando el valor P se encuentre por debajo del nivel de significación.

En cada modelo se establece la hipótesis nula, la cual no se rechaza a menos que los datos del modelo evidencian que es falsa. Para esta investigación se toma como hipótesis para cada modelo que variable dependiente (la clase o clases dentro de cada modelo), no influye en el costo total del proyecto, para rechazar dicha hipótesis el valor P de cada modelo debe ser menor a .05 (nivel de significancia), al concluir que sí existe la relación entre la clase y la variable dependiente analizada, así como el peso que tiene dicha clase con esta última.

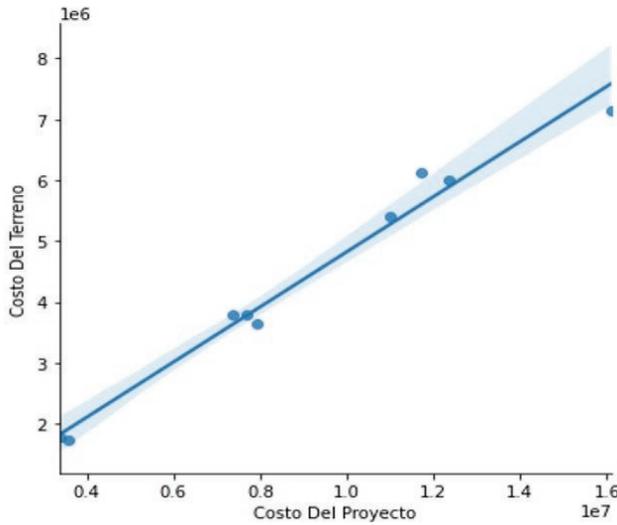
Al inicio del proyecto de obra por lo general, se tiene conocimiento de uno de los elementos que conforman el costo total de éste y del terreno. Se tiene esto en consideración, y se hace el primer modelo de regresión con solo estas dos variables para detectar el grado de relevancia.

TABLA 2. MODELO DE REGRESIÓN COSTO DEL PROYECTO – COSTO DEL TERRENO

Resumen del modelo					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
643330	97.93%	97.64%	95.92%		
Coeficientes					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-443166	561906	-0.79	0.456	
Costo del Terreno	2.161	0.119	18.21	0.000	1.00
Ecuación de regresión					
Costo del Proyecto	= -443166 + 2.161 Costo del Terreno				

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 2. GRÁFICA DE REGRESIÓN COSTO DEL PROYECTO – COSTO DEL TERRENO



Fuente: Elaboración propia.

Al observar este primer modelo, el valor *P* se encuentra por debajo del nivel de significancia, se rechaza así la hipó-

tesis, es nula (3.37×10^{-7}), se concluye que sí existe una relación entre el costo del terreno y el costo final del proyecto, con un factor de 2.161 en la variable dependiente, se puede inferir que el costo final del proyecto tiende a ser poco más del doble del costo del terreno. Otro factor que se tiene en los modelos es una constante, la cual siempre es un mismo valor para este modelo, en este caso -443,200 (-4.432×10^{-5}), como se puede ubicar en la tabla esta constante tiene un valor *P* de .456 el cual está por arriba del nivel de significancia y no se puede confirmar que este elemento esté relacionado con el costo final del proyecto.

$$\text{Costo del proyecto} = -443,166 + (2.161)(\text{Costo del terreno}) + (\text{diferencia real})$$

Con base en esta información se realiza la tabla para comparar los costos de proyecto real con los ya determinados, y ver cuál es el rango de diferencia que hay entre ambos. Para ello se aplica la ecuación de regresión, obtenida del modelo en cada muestra y se compara el resultado. Con base a esta ecuación el valor final evalúa la viabilidad del modelo en la predicción de costos del proyecto.

TABLA 3. TABLA COMPARATIVA: COSTO DEL PROYECTO (PROYECTADO) – COSTO DEL PROYECTO (REAL)

ID	Costo Del Terreno	Constante	Costo Del Proyecto (proyectado)	Costo Del Proyecto (Real)	Diferencia (pesos)	Diferencia (porcentual)
1	\$1,773,988.00	-\$443,200.00	\$3,390,388.07	\$3,361,644.00	-\$28,744.07	-1%
2	\$1,740,290.00	-\$443,200.00	\$3,317,566.69	\$3,558,065.00	\$240,498.31	7%
3	\$3,630,550.00	-\$443,200.00	\$7,402,418.55	\$7,941,143.00	\$538,724.45	7%
4	\$3,786,750.00	-\$443,200.00	\$7,739,966.75	\$7,374,806.00	-\$365,160.75	-5%
5	\$6,114,640.00	-\$443,200.00	\$12,770,537.04	\$11,707,642.00	-\$1,062,895.04	-9%
6	\$3,789,104.00	-\$443,200.00	\$7,745,053.74	\$7,698,274.00	-\$46,779.74	-1%
7	\$7,151,200.00	-\$443,200.00	\$15,010,543.20	\$16,111,329.00	\$1,100,785.80	7%
8	\$5,395,875.00	-\$443,200.00	\$11,217,285.88	\$11,013,609.00	-\$203,676.88	-2%
9	\$6,006,250.00	-\$443,200.00	\$12,536,306.25	\$12,363,864.00	-\$172,442.25	-1%

Fuente: Elaboración propia.

A medida que incrementa el costo del proyecto, el modelo es cada vez más inexacto, como se observa en la gráfica. La diferencia entre el valor real y determinado con el costo más alto llega a ser significativo, para reducir el margen de error se puede incrementar las unidades de muestreo, así como la cantidad de variables relacionadas con el elemento a investigar.

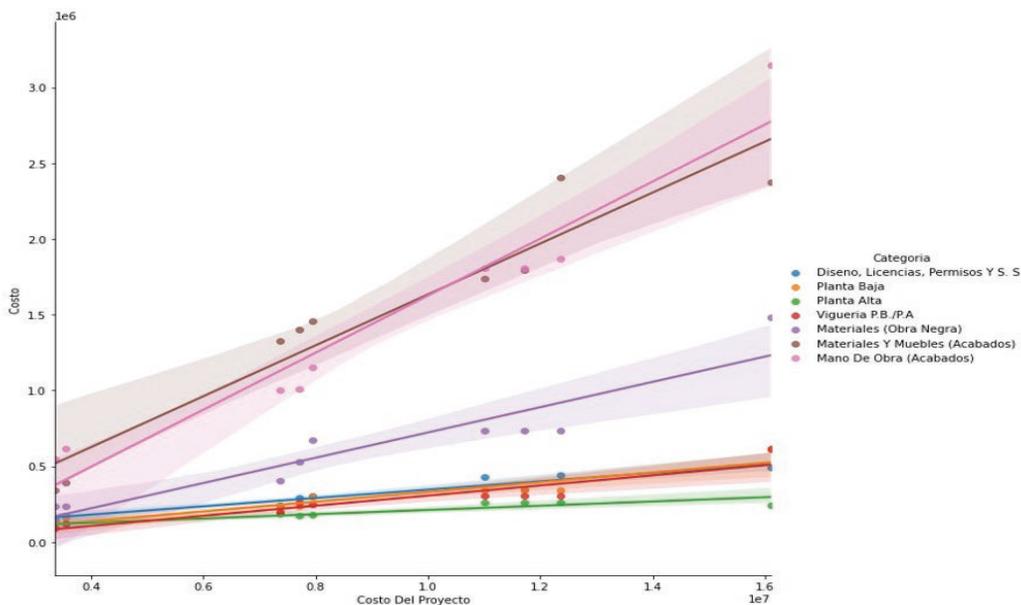
En el siguiente modelo se incorporan las otras siete categorías seleccionadas para la investigación (Diseño, licencias, permisos y seguro social, vigería, materiales de obra negra, mano de obra (negra y gris,) desde cimentación hasta planta baja, mano de obra (negra y gris), desde planta alta hasta azotea, materiales y muebles de acabados, mano de obra de acabados), para ver el comportamiento y relación con el coste final del proyecto.

TABLA 4. MODELO DE REGRESIÓN COSTO DEL PROYECTO – COSTO DE LOS INSUMOS

Resumen del modelo					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
14021.8	100.00%	100.00%	99.91%		
Coeficientes					
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	730202	33686	21.68	0.029	
Diseño, Licencias, Permisos Y S	-7.067	0.205	-34.56	0.018	24.36
Planta Baja	-16.629	0.493	-33.72	0.019	200.67
Planta Alta	20.200	0.308	65.53	0.010	16.26
Viguería P.B/P.A	4.883	0.249	19.58	0.032	57.18
Materiales (obra negra)	4.773	0.164	29.11	0.022	154.24
Materiales y muebles (acabados)	1.8597	0.0271	68.69	0.009	16.11
Mano de obra (acabados)	3.0468	0.0440	69.18	0.009	52.16
Ecuación de regresión					
Costo del Proyecto = 730202 - 7.067 Diseño, Licencias, Permisos Y S - 16.629 Planta Baja + 20.200 Planta Alta + 4.883 Viguería P.B./P. A + 4.773 Materiales (Obra Negra) + 1.8597 Materiales Y Muebles (Acabados) + 3.0468 Mano De Obra (Acabados)					

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 3. GRÁFICA DE REGRESIÓN COSTO DEL PROYECTO – COSTO DE LOS INSUMOS



Fuente: Elaboración propia.

En este modelo se observa que cada una de las clases influye de manera distinta en el costo final del proyecto. Mientras que los costos de mano de obra negra son estables con la tendencia más lineal, características como los acabados, tanto en materiales como su mano de obra, muestran tendencias más dispersas los cuales hacen que el uso para calcular el valor final del proyecto sea menos significativo. Entre más constante sean los valores de los in-

sumos en proporción al costo final del proyecto, más peso tiene ésta para ser usado en la ecuación final.

Como se explica con anterioridad, el incremento de variables ha resultado en una reducción en los márgenes de error al dar resultados, conjeturas más aproximadas al valor real, se aplica a la nueva ecuación obtenida con el uso de las siete categorías seleccionadas previamente, y se realiza el proceso de la tabla comparativa.

TABLA 5. COMPARATIVA: COSTO DEL PROYECTO (PROYECTADO) – COSTO DEL PROYECTO (REAL)

ID	Constante	Diseño, licencias, permisos y s.s	Planta baja	Planta alta	Viguería P.B./P.A	Materiales (obra negra)	Materiales y muebles (acabados)	Mano de obra (acabados)	Costo del proyecto (proyectado)	Costo del proyecto (real)	Diferencia (pesos)	Diferencia (%)
Coef.	1	-7.067	-16.629	20.2	4.883	4.773	1.8597	3.0468	1	1	1	1
1	\$730,200	-\$1,070,990	-\$2,051,237	\$1,861,996	\$450,359	\$1,139,196	\$63,4018	\$1,671,922	\$3,365,464	\$3,361,644	-\$3,820	-0.11%
2	\$730,200	-\$1,205,623	-\$2,660,274	\$2,325,929	\$619,623	\$1,137,501	\$727,496	\$1,875,762	\$3,550,615	\$3,558,065	\$7,450	0.21%
3	\$730,200	-\$2,131,132	-\$4,952,282	\$3,647,312	\$1,208,069	\$3,211,799	\$2,706,049	\$3,519,816	\$7,939,831	\$7,941,143	\$1,312	0.02%
4	\$730,200	-\$1,709,924	-\$3,843,378	\$3,806,488	\$958,933	\$1,918,030	\$2,461,499	\$3,061,120	\$7,382,968	\$7,374,806	-\$8,162	-0.11%
5	\$730,200	-\$2,464,475	-\$5,694,601	\$5,294,218	\$1,497,040	\$3,503,143	\$3,335,056	\$5,502,125	\$11,702,706	\$11,707,642	\$4,936	0.04%
6	\$730,200	-\$2,069,698	-\$3,948,639	\$3,474,905	\$1,288,365	\$2,536,253	\$2,603,394	\$3,082,448	\$7,697,227	\$7,698,274	\$1,047	0.01%
7	\$730,200	-\$3,455,904	-\$10,177,613	\$4,944,556	\$3,000,804	\$7,075,094	\$4,410,991	\$9,583,862	\$16,111,989	\$16,111,329	-\$660	0.00%
8	\$730,200	-\$3,042,789	-\$5,694,601	\$5,294,218	\$1,497,040	\$3,503,143	\$3,228,865	\$5,502,125	\$11,018,201	\$11,013,609	-\$4,592	-0.04%
9	\$730,200	-\$3,127,840	-\$5,694,601	\$5,294,218	\$1,497,040	\$3,503,143	\$4,466,858	\$5,691,483	\$12,360,502	\$12,363,864	\$3,362	0.03%

Fuente: Elaboración propia.

Al evaluar el nuevo modelo se observa una menor diferencia entre el costo proyectado y el real, se tiene diferencias considerables de 7% y 9%, el nuevo modelo al integrar el resto de las categorías llega a tener diferencias de .21%, hace más viable el modelo para crear proyecciones de presupuestos de obra al usar la ecuación que se presenta.

En las conclusiones de este último modelo se puede utilizar la fórmula del modelo de regresión presentado en la tabla 4 como modelo matemático, que permite obtener valores de los conceptos de presupuesto que se han cla-

sificado durante el desarrollo del proyecto. A través de la ecuación de regresión obtenida se puede no sólo adquirir el costo de un nuevo proyecto, sino también hacer conjeturas de los costos de otros elementos que lo conforman, si ya se tiene un margen del costo final con el que se quiera trabajar, esto se logra al aislar la incógnita que se requiera analizar, por ejemplo, el presupuestar los gastos en acabados o en acero al tener que ajustarse a un costo de proyecto ya establecido.

TABLA 6. COSTO DEL PROYECTO

Costo Del Proyecto	= 730202 - 7.067 Diseño, Licencias, Permisos Y S - 16.629 Planta Baja + 20.200 Planta Alta + 4.883 Vigería P.B./P. A + 4.773 Materiales (Obra Negra) + 1.8597 Materiales Y Muebles (Acabados) + 3.0468 Mano De Obra (Acabados)
+ 4.883 Vigería P.B./P. A	= -730202 + 7.067 Diseño, Licencias, Permisos Y S + 16.629 Planta Baja - 20.200 Planta Alta - 4.773 Materiales (Obra Negra) - 1.8597 Materiales Y Muebles (Acabados) - 3.0468 Mano De Obra (Acabados) + Costo Del Proyecto
- 4.773 Materiales (Obra Negra)	= -730202 + 7.067 Diseño, Licencias, Permisos Y S + 16.629 Planta Baja - 20.200 Planta Alta - 4.883 Vigería P.B./P. A - 1.8597 Materiales Y Muebles (Acabados) - 3.0468 Mano De Obra (Acabados) + Costo Del Proyecto

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Una vez procesada la información con base a la hipótesis establecida, se obtienen dos modelos matemáticos que cumplen con el mismo objetivo de esta investigación, cada uno tiene sus limitantes y sus ventajas. Por un lado, el modelo basado en una variable explicativa (tabla 1), permite hacer conjeturas del costo del proyecto de una manera rápida y emplear el costo del terreno como un factor relativamente fácil de obtener al comienzo del proyecto, a pesar de que el margen de error es más sensible al tamaño de la muestra, obliga al usuario a incrementar la población de la base de datos para reducir la diferencia entre el valor real y el estimado. Por otro lado, el modelo basado en siete variables explicativas (tabla 3), evidencia que el incremento de factores dentro del modelo para obtener el presupuesto final resulta ser más preciso incluso con una base de datos reducida, además de dar flexibilidad para hacer predicciones de estas mismas variables al reestructurar la ecuación. Sin embargo, al incrementar la cantidad de elementos en el modelo matemático, los cuales necesitan de un mayor conocimiento en el proyecto a implementar, así como una mayor experiencia en los costos promedio, hace

que esta alternativa requiere la mayor cantidad de datos en el proyecto a implementar en lugar de una mayor muestra poblacional.

En este documento los factores utilizados para el modelo matemático son enteramente cuantitativos al ser los costos que presentan cada clase en que se divide el presupuesto. La mayor parte de las investigaciones relacionados al sistema CRB utilizan una combinación de datos cuantitativos, datos cualitativos y datos de tipo lógico o booleano (elementos que pueden tener o no una muestra, por ejemplo, tener techos inclinados). Si bien datos como la localización de un proyecto o su duración pueden llegar a ser un factor importante en cuanto al costo de un proyecto, se vuelve más complejo determinar el nivel de relevancia de estos factores, lo que condiciona el incremento del número de muestras, así como realizar más procesos para determinar si el impacto de estos factores es similar en proporción con el resto de los casos analizados.

El utilizar una mayor diversidad en los tipos de datos a recolectar con base al diseño para el modelo matemático, se puede obtener factores como la cantidad de baños, recámaras o elevadores en un proyecto y la obtención de estos datos es más simple que el cálculo de materiales o mano de obra que requiere la obra, a la vez se torna más

complicado justificar el uso de dichos factores y la relación con el costo sin aumentar el número de casos a analizar y hacer que las características de dichas muestras sean aún más similares.

Con base a lo anterior, se concluye que la adición de nuevos métodos para la estimación de proyecto, como es el caso de CBR y la categorización de los insumos, proporciona la nueva forma de obtener presupuestos de obra al usar el modelo matemático, el cual está alimentado por la base de datos referente a proyectos con características similares, y ayuda así a realizar conjeturas más precisas al minimizar así los riesgos financieros que este sector de la industria padece.

Referencias

- Ahiaga-Dagbui, D. D., & Smith, S. D. (2014). Dealing with construction cost overruns using data mining. *Construction Management & Economics*, 682-694. <https://www.research.ed.ac.uk/en/publications/dealing-with-construction-cost-overruns-using-data-mining/> consultado 15 de mayo 2024.
- Cabrera, F., & Lavayen, F. (2015). *El Oficial*. Retrieved from <https://eloficial.ec/modulo-3-elaboracion-de-presupuesto-de-obra/> consultado el 24 de marzo 2022.
- Construction Projects. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 1-9. (2022) Tab Yang, W., Benjaoram, V. (2016). Modified finance-based scheduling model with variable contractor-to-subcontractor payment arrangement. *KSCE Journal Of Civil Engineering*, 1621-1630.
- Cruz, J. M., González Fajardo, J. A., Zaragoza Grifé, J. N. (2013). Un sistema de razonamiento basado en casos para apoyar la toma de decisiones en la industria de la. *Ingeniería Revista Académica*, 111-125. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46730913003.pdf/> consultado/18 de mayo 2024.
- De Solminihac, H. (2017). *la clase ejecutiva*. Retrieved from <https://www.claseejecutiva.com.mx/blog/articulos/estimacion-de-costos-como-hacerlo-cuando-el-alcance-es-incompleto/> consultado 23 de marzo 2022.
- Elfaki, A. O., Alatawi, S., & Abushandi, E. (2014). Using Intelligent Techniques in Construction Project Cost Estimation: 10-Year Survey. *Advances in Civil Engineering*, 1-11. https://www.researchgate.net/publication/269069274_Review_Article_Using_Intelligent_Techniques_in_Construction_Project_Cost_Estimation_10-Year_Survey/ consultado 16 junio 2024.
- Equipo editorial, E. (2021). *Concepto*. Retrieved from <https://concepto.de/sistema/>. Última edición: 22 de octubre de 2021. Consultado: 02 de marzo de 2022.
- Fu, F., & Zhang, T. (2016). A New Model for Solving Time-Cost-Quality Trade-Off Problems in Construction. *Plos ONE*, 1-15. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0167142/> consultado 17 junio 2024.
- Hwang, S. (2011). Time Series Models for Forecasting Construction Costs Using Time Series Indexes. *Journal Of Construction Engineering & Management*, 656-662. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Time+series+models+for+forecasting+construction+costs+using+time+series+indexes&author=S.+Hwang&publication_year=2011&journal=Journal+of+Construction+Engineering+and+Management&pages=656-662&doi=10.1061%2F%28ASCE%29CO.1943-7862.0000350/ consultado 17 junio 2024.
- INEGI (2022). *Instituto Nacional de Geografía y Estadística*. Retrieved from <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/648> consultado 25 marzo 2022.
- Ji, S., Park, M., & Lee, H. (2011). Cost estimation model for building projects using case-based reasoning. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 570-581. <https://s-space.snu.ac.kr/bitstream/10371/80902/1/11-016.pdf/> consultado /17 junio 2024.
- Karanci, H. (2010). A comparative study of regression analysis, neural networks and case-based reasoning for early range cost estimation of mass housing projects. . *Master's thesis, Middle East Technical University*, 1-85. <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12612514/index.pdf/> consultado 18 junio 2024.
- Kim, S., & Shim, J. (2014). Combining case-based reasoning with genetic algorithm optimization for preliminary cost estimation in the construction industry. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 65-73. <https://cdnsiencepub.com/authored-by/Kim/Sangyong/> consultado 17 junio 2024.
- Lee, H.-S., Seong, K., Park, M., & Kim, S. (2013). Case-Based Reasoning Cost Estimation Model Using Two-Step Retrieval Method. *LHI Journal*, 1-7. <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/l11-016/> consultado 19 junio 2024.
- Ma, Z., Liu, Z., Wei, Z. (2015). Formalized Representation of Specifications for Construction Cost Estimation by Using Ontology. *Computer-Aided Civil And Infrastructure Engineering*, 4-17. https://www.researchgate.net/publication/280323978_Establishing_Formalized_Representation_of_Specifications_for_Construction_Cost_Estimation_by_Using_Ontology/ consultado /18 junio 2024.
- Ma, Z., Wei, Z., & Zhang, X. (2013). Semi-automatic and specification-compliant cost estimation for tendering of building projects based on IFC data of design model. *Automation in Construction*, 126-135. <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-e5fc26d4-93c0-3759-ba28-2052bf3773ef/> consultado 18 junio 2024.
- Peleskei, C., Dorca, V., Munteanu, R., & Munteanu, R. (2015).

Risk Consideration and Cost Estimation in Construction Projects Using Monte Carlo Simulation. *Management.*, 163-176. <https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A15%3A6618191/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Acrawler&id=ebsco%3Agcd%3A110130673/> consultado 19 junio 2024.

Shin, Y. (2015). Application of Boosting Regression Trees to Preliminary Cost Estimation in Building. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4538588/> consultado 19 junio 2024.



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS