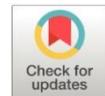


Propuesta de modelo matemático de rendimiento de mano de obra en enlucidos de mampostería. Caso de estudio: ciudad de Cuenca

Proposal of a mathematical model of labor performance in masonry plastering. Case study: city of Cuenca

- ¹ Karla Denisse Campoverde Chicaiza  <https://orcid.org/0009-0009-7235-6077>
Maestría en Construcciones con mención en Administración de la Construcción Sustentable, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
karla.campoverde.08@est.ucacue.edu.ec
- ² Carlos Julio Calle Castro  <https://orcid.org/0000-0002-6891-0030>
Maestría en Construcciones con mención en Administración de la Construcción Sustentable, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
cjcallec@ucacue.edu.ec
- ³ Marco Ávila Calle  <https://orcid.org/0000-0002-2134-1432>
Maestría en Construcciones con mención en Administración de la Construcción Sustentable, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
mavila@ucacue.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 15/12/2023

Revisado: 18/01/2024

Aceptado: 08/02/2024

Publicado: 05/03/2024

DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v7i1.3.2939>

Cítese: Campoverde Chicaiza, K. D., Calle Castro, C. J., & Ávila Calle, M. (2024). Propuesta de modelo matemático de rendimiento de mano de obra en enlucidos de mampostería. Caso de estudio: ciudad de Cuenca. *ConcienciaDigital*, 7(1.3), 69-90.
<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v7i1.3.2939>



CONCIENCIA DIGITAL, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://concienciadigital.org>
La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec



Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons AttributionNonCommercialNoDerivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Palabras**claves:**

Rendimiento de mano de obra, Enlucido, Modelo matemático, Regresión lineal.

Keywords:

Labor performance,

Resumen

Introducción. La predicción del rendimiento de la mano de obra en la actividad de enlucido con mampostería es crucial para garantizar una planificación eficiente en el sector de la construcción. Una predicción precisa de esta actividad es vital para evitar retrasos, controlar los costos y cumplir con los plazos contractuales, lo que resalta la importancia de este estudio en la optimización de procesos constructivos. **Objetivo.** El propósito de esta investigación es presentar un modelo matemático para anticipar el rendimiento de la mano de obra en la actividad de enlucido de mampostería con mortero, empleando una técnica de regresión lineal. **Metodología.** Se adoptó un diseño metodológico relacional-descriptivo, que comenzó con una revisión de la literatura para identificar los factores que influyen en el rendimiento de los trabajadores. Posteriormente, se diseñó un instrumento de recolección de datos que se aplicó a una muestra de siete obras registradas en la base de datos del GAD municipal de Cuenca, ubicadas en la fase de enlucido con mortero en la parroquia de Yanuncaí. Los datos recopilados se analizaron utilizando un programa estadístico, lo que permitió desarrollar un modelo matemático para prever el rendimiento de los trabajadores en función de los factores estudiados. **Resultados.** Los resultados revelaron que el modelo desarrollado puede predecir de manera efectiva el rendimiento de los trabajadores considerando tanto los factores externos como internos de la obra. Se encontró que, para la actividad de enlucidos de mampostería, solo ciertos factores, como el tiempo, la temperatura, el tipo de suelo, las características de la cubierta, el nivel de dificultad, los riesgos asociados, los métodos de trabajo y la habilidad del trabajador, pueden prever este rendimiento mediante la regresión lineal. **Conclusión.** En conclusión, se evidencia que el rendimiento teórico no es eficaz para predecir el rendimiento real de la mano de obra, y se destaca la eficacia de la regresión lineal para mejorar la capacidad de planificación de tiempos de ejecución de los administradores del sector de la construcción en la ciudad de Cuenca. **Área de estudio general:** Ingeniería, Industria y Construcción. **Área de estudio específica:** Administración de la Construcción

Abstract

Introduction. The prediction of labor performance in the masonry plastering activity is crucial to ensure efficient planning in the

Plastering,
Mathematical
model, Linear
regression,
linear
regression

construction industry. Accurate prediction of this activity is vital to avoid delays, control costs and meet contractual deadlines, which highlights the importance of this study in the optimization of construction processes. **Objective.** The purpose of this research is to present a mathematical model to anticipate labor performance in the activity of masonry plastering with mortar, using a linear regression technique. **Methodology.** A relational-descriptive methodological design was adopted, which began with a literature review to identify the factors that influence workers' performance. Subsequently, a data collection instrument was designed and applied to a sample of seven construction sites registered in the database of the GAD municipal de Cuenca, located in the mortar plastering phase in the parish of Yanuncaí. The data collected were analyzed using a statistical program, which allowed the development of a mathematical model to predict the performance of workers according to the factors studied. **Results.** The results revealed that the model developed can effectively predict the performance of the workers considering both external and internal factors of the construction site. It was found that, for the masonry plastering activity, only certain factors, such as time, temperature, soil type, roof characteristics, level of difficulty, associated risks, work methods and worker skill, can predict this performance using linear regression. **Conclusion.** In conclusion, it is evident that theoretical performance is not effective in predicting actual labor performance, and the effectiveness of linear regression in improving the planning capacity of construction sector managers in the city of Cuenca is highlighted.

Introducción

La Industria de la Construcción (IC) es ampliamente reconocida como un sector económico muy prometedor con un importante potencial de crecimiento a escala global (Pheng y Hou, 2019). En este contexto, Ecuador también está experimentando el impacto positivo de esta tendencia. El sector antes mencionado no sólo ha contribuido consistentemente al crecimiento de la economía de este país, sino que también ha desempeñado un papel fundamental en la generación de oportunidades de empleo (Díaz et al., 2022). Esta afirmación se sustenta en datos obtenidos del Banco Central del Ecuador, que revelan que cada 40m² de actividad de construcción resulta en una duración

de 18 meses de empleo en obra civil. Durante el trimestre inicial de 2023, este fenómeno resultó en la involucración de aproximadamente 495.000 empleados, generando posteriormente un efecto dominó en diversos sectores del comercio y la industria (Osorio y Cazares, 2019)

Como se mencionó con anterioridad, la IC está experimentando un aumento de la demanda en todo el país actualmente (Flores et al., 2019). Es crucial reconocer que, en la ciudad de Cuenca, este fenómeno se ha visto amplificado aún más por la expansión urbana y el crecimiento demográfico, lo que ha resultado en una mayor necesidad de proyectos de construcción (Flores y Carrera, 2022). Con este escenario en mente, se subraya la necesidad de que las entidades, empresas, profesionales de la ingeniería, arquitectura y construcción en general que se dedican a esta labor, sean capaces de sobresalir en un entorno altamente competitivo (Azeem et al., 2020). Para seguir siendo relevantes en el mercado, es importante que las organizaciones prioricen la gestión eficiente de los recursos y la optimización de los procesos de construcción (Zhang et al., 2021)

En el contexto anteriormente mencionado, que está caracterizado por una competencia cada vez mayor, la importancia de una gestión eficaz para mantener la competitividad dentro del mercado adquiere una gran importancia. Uno de los elementos cruciales para lograr este objetivo es la gestión eficaz y el aumento de la productividad de los trabajadores que se mide a través de su rendimiento o comúnmente denominado Rendimiento de Mano de Obra o por sus siglas RMO (Oboreh et al., 2022). Este aspecto muestra interconexiones con varios otros conceptos importantes, incluido el control de operaciones, la ejecución de procesos, la planificación de actividades y la aplicación de estudios (Castillo et al., 2021). Además, vale la pena señalar que, en el contexto de Ecuador, donde los gastos laborales representan aproximadamente del 28% al 40% de los gastos totales de construcción, la implementación efectiva del RMO asume un papel fundamental para las empresas constructoras que operan dentro de un mercado cada vez más competitivo (Valdez y Toledo, 2021)

A pesar de lo mencionado, el cálculo del RMO en el contexto ecuatoriano sigue siendo limitado en términos de una estandarización sólida o métodos que permitan predecir con precisión el rendimiento potencial de un trabajador, considerando diversos factores que puedan influir en dicho rendimiento (Encalada y Calle, 2021). Esta carencia de estandarización aumenta la incertidumbre entre los responsables de la gestión, lo que puede llevar a situaciones en las que el rendimiento real de los trabajadores sea notablemente menor de lo esperado. Esto, a su vez, desencadena retrasos, interrupciones en la continuidad del trabajo, incremento de costos y obstaculiza el avance de las fases subsiguientes del proyecto, que dependen de la finalización oportuna de las actividades previas (Tola et al., 2023).

Un ejemplo de actividades constructivas que pueden provocar demoras, pero que a menudo no se consideran críticas en la planificación, es el enlucido de mampostería con mortero 1:3. Este procedimiento implica la aplicación directa de capas de mortero sobre la superficie de la mampostería, con el propósito de mejorar la uniformidad y la estética de las paredes. A pesar de que comúnmente se subestima, esta actividad puede tener un impacto significativo en el proyecto si no se aborda adecuadamente en la planificación. De hecho, su ejecución mal gestionada podría dar lugar a considerables demoras, contribuyendo al aumento de los costos y complicando el desarrollo del proyecto en su conjunto (Mahzuz et al., 2020).

Ante la problemática anteriormente mencionada, se realiza la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo se puede mejorar la planificación y gestión del enlucido de mampostería con mortero 1:3 para evitar retrasos y costos adicionales en proyectos de construcción? Para responder a este cuestionamiento, se plantea el siguiente objetivo: Proponer un modelo matemático para predecir el rendimiento de la mano de obra en la actividad de enlucido de mampostería con mortero a través de la aplicación de una regresión lineal para mejorar la capacidad de planificación de tiempos de ejecución de los administradores del sector de la construcción en la ciudad de Cuenca.

La importancia de cumplir con el objetivo propuesto de esta investigación es mitigar retrasos evitables y gastos adicionales provocados por una planificación ineficiente de los rendimientos de los obreros en la actividad del enlucido con mortero. Al abordar este asunto, tanto los profesionales de la construcción como las empresas obtendrán una herramienta importante para realizar sus planificaciones de manera eficiente, reduciendo así la incertidumbre generada en esta actividad. Asimismo, esta investigación dará un aporte técnico que podrá ser implantado para mejorar los presupuestos al momento de cuantificar los rendimientos de la mano de obra en la ejecución de rubros en la construcción de enlucidos con mortero.

La presente investigación, se realiza en la ciudad de Cuenca, un entorno poblacional que se caracteriza por ser un sector con grandes expansiones territoriales donde la demanda constructiva ha aumentado considerablemente (Herrera et al., 2023). La variable dependiente de esta investigación es el RMO que se puede definir como la cantidad de trabajo realizado por un obrero sobre la unidad de tiempo medido. Por su parte, las variables independientes son todos los factores que pueden influir sobre el RMO que pueden ser: factores climáticos, el tipo de actividad que realizan los obreros, el tipo y calidad de las herramientas proporcionadas, el tipo de supervisión que se realice en la obra y las condiciones del trabajador. A continuación, se presenta el marco teórico referencial utilizado para caracterizar cada una de las variables anteriormente citadas:

Factores que afectan el rendimiento de mano de obra

Antes de abordar específicamente la temática planteada de cuáles son los factores que afectan el rendimiento de la mano de obra, es importante iniciar definiendo qué es el RMO y cuáles son las implicaciones que tiene sobre las obras de construcción.

El concepto de rendimiento se puede definir como la capacidad de un individuo, equipo o sistema para alcanzar metas y objetivos utilizando los recursos disponibles, es decir, evalúa la eficacia y eficiencia en el desempeño de las tareas y el logro de los resultados deseados (Adebowale y Agumba, 2022). En el campo de la construcción, específicamente a lo concerniente al RMO, se puede definir como el volumen de trabajo o de producción que es capaz de producir un trabajador por unidad de tiempo en un periodo establecido, es decir, es la eficiencia con la que un trabajador es capaz de realizar una actividad durante su jornada laboral que puede ser medido como: cantidad de trabajo/unidad de tiempo, donde las unidades dependerán del tipo de actividad realizada y los periodos de tiempo que use la empresa (Sugiyanto et al., 2022).

El impacto del desempeño laboral en las obras de construcción es de considerable importancia, ya que tiene una influencia directa en la productividad y eficiencia del trabajo que se realiza. En caso de que el desempeño laboral no sea óptimo, existe la posibilidad de que el tiempo de finalización del proyecto se prolongue, lo que generará mayores gastos y retrasos en la entrega del proyecto. Además, un desempeño laboral deficiente tiene el potencial de comprometer la calidad del trabajo y aumentar la probabilidad de accidentes laborales. Por lo tanto, es crucial conocer las variables que influyen en el desempeño laboral e implementar medidas para mejorarlas (Valdez y Toledo, 2021)

La importancia de comprender estos determinantes, pues este entendimiento permite optimizar los procesos constructivos y reducir costos en los proyectos de vivienda. Al comprender los diversos factores que afectan el rendimiento de los trabajadores, es posible discernir oportunidades para mejorar la planificación y ejecución del trabajo. Esto, a su vez, puede dar como resultado una mayor eficiencia y productividad en el sitio de construcción. Además, la optimización de los procesos constructivos puede producir resultados favorables en términos de calidad de la construcción y satisfacción del cliente (Abdelnour, 2022).

En la actualidad, hay varios factores o variables que pueden llegar a influir el RMO, un ejemplo de esto, es la investigación realizada por Luís Fernando Botero quien señala varias causas que pueden reducir o mejorar estos rendimientos que se clasifican en 5 categorías y se menciona a continuación (Botero, 2002):

Condiciones ambientales: como la lluvia, la exposición prolongada al sol, el uso de cubiertas y la temperatura, pueden incidir en el rendimiento de los obreros, dependiendo de la intensidad de estas condiciones y la duración de la exposición. La segunda categoría corresponde al tipo de actividad en cuestión. Elementos como la dificultad, el riesgo inherente, la tipicidad y el área de trabajo pueden influir directamente en el tipo de rendimiento que se puede esperar.

El tipo de equipamiento constituye otra categoría relevante. La calidad, disponibilidad y mantenimiento oportuno de las herramientas pueden determinar la efectividad del rendimiento obtenido por un trabajador. La cuarta categoría se refiere a la supervisión. Botero sostiene que el RMO está intrínsecamente ligado a las condiciones de supervisión presentes en el lugar de trabajo. Finalmente, la quinta categoría resalta las condiciones del trabajador en sí mismo. Factores como la situación personal, nivel de conocimientos, capacitación y nivel de fatiga desempeñan un rol crucial en su rendimiento. Estas categorías identificadas brindan un panorama claro de las variables que tienen un impacto en el RMO, destacando la complejidad y multiplicidad de factores que influyen en la productividad de los obreros en el campo de la construcción.

Metodología

El diseño metodológico utilizado en esta investigación corresponde al tipo relacional – descriptivo, puesto que se va a comprobar la influencia que tienen diferentes factores externos e internos de los obreros sobre su rendimiento en la actividad enlucido de mampostería. Asimismo, se usa un enfoque cuantitativo, puesto que los datos y análisis utilizados en la elaboración de toda la investigación se realizan de manera estadística a través de un software de análisis numérico.

La variable dependiente de esta investigación es el rendimiento de la mano de obra de los empleados que trabajan dentro del rubro del enlucido por mortero. Mientras que las variables independientes, son los factores que son capaces de influir esta variable. En la tabla 1, se presentan las variables independientes usadas para la investigación que corresponden a: condiciones climáticas, tipo de actividad ejecutada por los obreros, tipo de equipamiento, tipo de supervisión implementada en la obra y las condiciones propias de los trabajadores que son ajenos a la organización o empresa contratante.

El universo de investigación aborda las estructuras arquitectónicas ubicadas en la ciudad de Cuenca, Ecuador, específicamente aquellas que se hallan en la fase de enlucido con mortero y que están en la base de datos del GAD de Cuenca. La selección de la población objeto de estudio se centró en las edificaciones en curso dentro de la parroquia de Yanuncai, se eligió esta población por la presencia de obras en ejecución en la mencionada etapa constructiva. Para la determinación de la muestra, se adoptó un enfoque de muestreo no aleatorio, con un énfasis en las construcciones que se encontraban, al

momento de llevar a cabo esta investigación, en la fase de enlucido. Este tipo de muestreo específico se clasifica como muestreo por conveniencia, que garantizó una focalización precisa en el objeto de estudio en cuestión y que dio como resultado un total de 7 obras dentro de la parroquia anterior mencionada.

Para la toma de los datos, se utilizó la totalidad de los obreros que se encontraban ejecutando la actividad de enlucido con mortero en el momento de la toma de los datos, e inició con una exhaustiva caracterización de los obreros, solicitándoles información general sobre sus actividades en las obras. Esta fase permitió clasificar al personal en dos categorías: los albañiles, responsables de llevar a cabo el enlucido con mampostería, y los ayudantes/peones, encargados de tareas como limpieza, preparación de mezclas y colocación de encofrados para los filos.

Una vez completada la caracterización, se procedió a la recopilación de datos mediante una ficha de observación diseñada en base a las variables independientes y sus respectivos indicadores, detallados en la tabla 1. Estos datos se tradujeron en equivalencias numéricas y se introdujeron en un software de análisis estadístico para realizar cálculos de normalidad, análisis de varianza, correlación entre variables y la determinación de una regresión lineal. Estos análisis permitieron la creación de un modelo matemático que estima el rendimiento de la mano de obra en trabajos de enlucido con mampostería.

Tabla 1

Variables independientes e indicadores

Variable	Indicadores	1	2	3	4	5
Clima	Tiempo	Tormenta	Aguacero	Llovizna	Nublado	Despejado
	Temperatura	Muy Caluroso/Muy Frio		Caluroso/Frio		Fresco
	Suelo Cubierta	Pantanero Sol	Charcos	Piso húmedo Normal	Piso seco	Piso duro Sombra
	Dificultad	Difícil		Normal		Fácil
Actividad	Peligro	Peligrosa	Riesgosa	Normal	Moderado	Ningún peligro
	Interrupciones	≥ 1 hora	15 ≥ 60 min	5 ≥ 15 min	0 ≥ 5 min	Ninguna
	Orden y aseo	Difícil acceso	Escombros	Transitable	Poca suciedad	Aseo total y orden
	Actividades precedentes	Repetir	Mucho resane	Poco resane	Aceptable	Perfecta

Tabla 1

Variables independientes e indicadores (continuación)

Variable	Indicadores	1	2	3	4	5
Equipamiento	Tipicidad	De 1 a 5	De 5 a 10	De 10 a 15	De 15 a 20	Más de 20
	Tajo (Espacio de trabajo)	Muy estrecho	Estrecho	Normal	Amplio	Muy amplio
	Herramienta	Inadecuada		Adecuada		Especial
	Equipo	Inadecuada		Adecuada		Especial
	Mantenimiento	Nulo		Aceptable		Bueno
Supervisión	Suministro	Nunca		A veces		Siempre
	Elemento de protección	Ninguno		Casi todos		Todos
	Dirección (criterios de aceptación)	Ninguno	Informales	Verbales	Verbales previos	Bajo escrito
	Instrucción	Ninguna		Verbal - requerida		Documento requerido
Trabajador	Seguimiento	Sin revisión		Revisión eventual		Siempre
	Supervisor (Maestro)	Malo		Regular		Bueno
	Aseguramiento de Calidad	No existe	Esfuerzos aislados	Inventoría	En proceso	Certificado ISO
	Situación personal	Neurótico	Triste	Normal	Buena	Excelente
	Ritmo de trabajo	Lento		Normal		Rápido
Laborales	Salud	Enfermo		Normal		Excelente
	Habilidad	Inexperto		Hábil		Experto
	Capacitación	Ninguna	Aprendiz	Requerida	Experto	Certificado
	Contrato	Administración				Subcontratación
	Sindicato	Si				No
	Incentivos	No				Si
	Salario	SMLV				≥SMLV
	Seguridad social	Si				No

Nota. Adaptado de Botero (2002)

Elaborado por: Karla Denisse Campoverde Chicaiza (2023)

Para la evaluación de la normalidad de los datos, se empleó la prueba de Shapiro-Wilk, reconocida por su capacidad para determinar si los datos recolectados se adhieren a una distribución normal y si presentan homogeneidad en sus varianzas. Esta prueba se basa en la obtención de un valor de P, con un umbral estándar establecido en $p\text{-value}=0.05$. En este contexto, un valor P superior a 0.05 indica una distribución normal de los datos, mientras que un valor P inferior sugiere que los datos no cumplen con los supuestos de normalidad.

El análisis de varianza se determinó a partir de la evaluación de la normalidad de los datos. En este estudio, se aplicó el método Kruskal-Wallis, que emplea el cálculo de un valor chi-cuadrado (χ^2). Esta medida estadística nos permite determinar si existe una correlación sustancial entre conjuntos de datos categóricos. Los grados de libertad (gl) en este estudio representan el número de variables independientes que pueden modificarse sin afectar las restricciones establecidas. Además, se tuvo en cuenta un nivel predeterminado de significancia (p), que establece el umbral para determinar si los hallazgos del estudio son estadísticamente significativos o simplemente una consecuencia del azar. El nivel de significancia normalmente se establece en niveles convencionales, como 0,05 o 0,01. Sin embargo, puede modificarse según las circunstancias específicas y el nivel deseado de precisión para la investigación que se está realizando.

Seguidamente, se procede con el cálculo de regresión lineal, que inicia con las medidas de ajuste del modelo a través de: El coeficiente de correlación lineal (R) que cuantifica la magnitud y dirección de la asociación entre variables, mientras que el coeficiente de determinación (R^2) mide la fracción de variabilidad contabilizada por el modelo. El Criterio de información de Akaike (AIC) y el Criterio de información bayesiano (BIC) son métricas que evalúan la calidad relativa de un modelo con el objetivo de disminuir sus valores para determinar el mejor ajuste. El error cuadrático medio (RMSE) cuantifica la diferencia entre los valores predichos y observados, y sirve como medida de la precisión del modelo al pronosticar los resultados reales. Estas métricas ofrecen una evaluación completa y precisa de la capacidad de predicción y la idoneidad del modelo estadístico para los datos investigados.

Posteriormente, se procede a calcular los coeficientes del modelo utilizando las métricas de desempeño y las variables independientes aclaradas en la tabla 1. Algunos de los coeficientes clave del modelo incluyen: El valor estimador representa la pendiente calculada o la correlación entre la variable independiente y la variable dependiente. en el modelo. El coeficiente EE mide la precisión de la estimación del coeficiente y cuantifica la variabilidad de la estimación en varias muestras. El coeficiente t se utiliza para evaluar si el coeficiente se desvía significativamente de cero. El coeficiente p indica la probabilidad de observar el coeficiente si no existe una relación verdadera entre las variables.

Una vez se obtuvieron los valores de los coeficientes, se puede proseguir con la estimación de la fórmula general del modelo matemático basado en la regresión lineal que tiene la siguiente forma base:

$$y = b_0 + b_1 * X_1 + b_2 * X_2 + \dots + b_N * X_n$$

Donde:

- y = Variable de interés o variable dependiente
- X_1, X_2, \dots, X_n = variables independientes
- b_0 = término independiente, valor esperado de y cuando X_1, \dots, X_n son cero
- b_1 = mide cambio en y por cada cambio unitario en X_1 , manteniendo X_2, X_3, \dots, X_n constantes
- b_2 = mide el cambio en y por cada cambio unitario en X_2 , manteniendo X_1, X_3, \dots, X_n constantes
- b_n = mide el cambio en y por cada cambio unitario en X_n , manteniendo X_1, \dots, X_{n-1} constantes

Resultados

Antes de comenzar los análisis, los datos se sometieron a pruebas de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Los resultados sugieren que los datos no se ajustan a una distribución normal y que las varianzas no son iguales (valor $p < 0,05$ en todas las pruebas). Debido a la falta de conformidad con los requisitos de normalidad y homogeneidad, el análisis de varianza convencional (ANOVA) no es adecuado. Alternativamente, se optó por emplear la prueba de Kruskal-Wallis, que es una alternativa no paramétrica que evita la necesidad de supuestos de normalidad. Esta prueba permite la comparación de medianas entre varios grupos incluso cuando los datos no se ajustan a una distribución normal.

Como se observa en la tabla 2, el análisis de Kruskal-Wallis demostró evidencia sólida ($p < .001$ para la mayoría de las variables) de discrepancias en el desempeño laboral en relación con diversos factores evaluados. Esto fue corroborado por estadísticas de chi-cuadrado (χ^2) que oscilaron entre 8,31 y 29,00, con 3 grados de libertad en cada caso. Los resultados demuestran variaciones estadísticamente significativas entre las muestras evaluadas, abarcando factores como la duración, la temperatura, la dificultad, las interrupciones, las herramientas utilizadas y los entornos de seguridad. En otras palabras, el análisis de Kruskal-Wallis demuestra que los factores utilizados sí tienen un impacto significativo sobre la variable rendimiento.

Tabla 2

Análisis de Kruskal-Wallis

Factor	X ²	gl	p
Tiempo	29.00	3	< .001
Temperatura	27.55	3	< .001
Suelo	19.92	3	< .001
Cubierta	29.00	3	< .001
Dificultad	21.08	3	< .001
Peligro	8.31	3	0.040
Interrupciones	29.00	3	< .001
Orden y aseo	27.55	3	< .001
Actividades precedentes	29.00	3	< .001
Tajo (Espacio de trabajo)	21.21	3	< .001
Herramienta	29.00	3	< .001
Equipo	29.00	3	< .001
Mantenimiento	29.00	3	< .001
Suministro	29.00	3	< .001
Elemento de protección	21.21	3	< .001
Dirección (criterios de aceptación)	29.00	3	< .001
Instrucción	29.00	3	< .001
Seguimiento	29.00	3	< .001
Supervisor (Maestro)	21.21	3	< .001
Aseguramiento de Calidad	29.00	3	< .001
Situación personal	21.21	3	< .001
Ritmo de trabajo	29.00	3	< .001
Salud	29.00	3	< .001
Habilidad	15.38	3	0.002
Capacitación	29.00	3	< .001

Nota. datos estadísticos determinados a partir de la información recolectada en la población objetivo.

Después de confirmar el impacto individual de los componentes en la RMO, procedemos a construir el modelo mediante regresión lineal múltiple en la herramienta JAMOVI. La tabla 3 presenta las medidas de ajuste del modelo, destacando una correlación significativa entre las variables como resultado principal de la investigación. Las variables independientes (R y R²) representan aproximadamente el 99% de la variación de la variable dependiente, lo que sugiere que el modelo se ajusta excepcionalmente bien a los datos. Los valores de AIC y BIC indican un nivel bajo, lo que implica que este modelo es más favorable. Además, los pronósticos presentan poco error, lo que indica que las estimaciones del modelo son muy precisas y están estrechamente alineadas con los valores reales.

Tabla 3

Medidas de ajuste del modelo

Modelo	R	R ²	AIC	BIC	RMSE
1	0.994	0.988	-123	-109	0.0221

La tabla 4 muestra los coeficientes del modelo, ilustrando la correlación entre el rendimiento laboral y otros parámetros. Los valores del "Estimador" representan el impacto estimado de cada componente en el rendimiento. Por ejemplo, el estimador del tiempo es 0,1400, lo que muestra que un aumento en el tiempo está vinculado a un aumento de 0,1400 en el rendimiento. Por otro lado, el estimador para el suelo es -0,0700, lo que implica que las condiciones específicas del suelo están asociadas con una disminución del rendimiento del 0,0700. Los valores "t" y "p" representan la significación estadística de cada factor. El valor "t" mide en qué medida el estimador se desvía de cero, mientras que el valor "p" indica si esta desviación es estadísticamente significativa. A modo de ilustración, la variable temperatura exhibe un valor p de 1.000, lo que demuestra que carece de una influencia sustancial en el rendimiento. Por el contrario, las variables dificultad y habilidad tienen valores p de 0,250 y 0,045 respectivamente, lo que demuestra que pueden tener un impacto algo menos significativo, pero aún significativo, en el desempeño de la tarea.

Es importante subrayar que algunos predictores no se emplearon en el cálculo de los coeficientes debido a la baja variabilidad en sus datos. Esta falta de variación no garantizaba una contribución sólida al modelo de regresión lineal múltiple, lo que comprometería la confiabilidad de las predicciones. Por esta razón, se excluyeron de los análisis aquellos predictores que no ofrecían suficiente información, manteniendo únicamente los presentados a continuación.

Tabla 4

Coeficientes del modelo – rendimiento

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	0.5250	0.0926	5.67	< .001
Tiempo	0.1400	0.0361	3.87	< .001
Temperatura	2.20e-15	0.0286	7.70e-14	1.000
Suelo	-0.0700	0.0153	-4.58	< .001
Cubierta	0.1550	0.0315	4.92	< .001
Dificultad	0.0350	0.0296	1.18	0.250

Tabla 4

Coefficientes del modelo – rendimiento (continuación)

Predictor	Estimador	EE	t	p
Peligro	-0.0700	0.0246	-2.84	0.010
Tajo (Espacio de trabajo)	-0.0700	0.0392	-1.78	0.089
Habilidad	0.0700	0.0328	2.14	0.045

Nota. Datos determinados de la muestra de estudio.

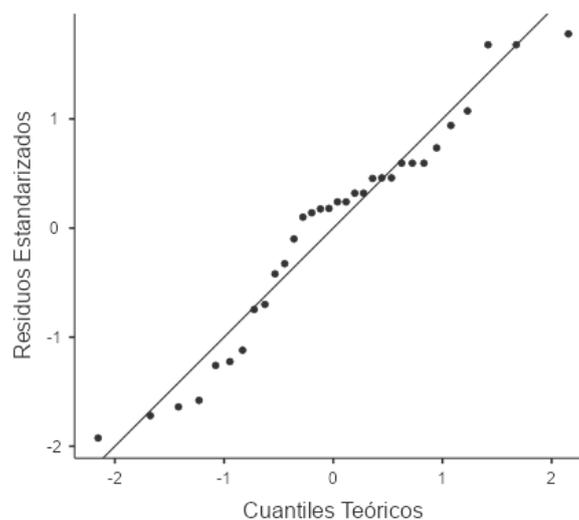
Con los coeficientes calculados ya se puede estimar la formula general del modelo, usando para ello los estimadores, dando como resultado la siguiente formula:

$$y = 0.5250 + 0.14 * \text{Tiempo} + 2.20e-15 * \text{Temperatura} - 0.07 * \text{Suelo} + 0.155 * \text{Cubierta} + 0.035 * \text{dificultad} - 0.07 * \text{Peligro} - 0.07 * \text{Tajo} + 0.07 * \text{Habilidad}$$

Del mismo modo se procedió a graficar los residuos estandarizados vs los cuantiles teóricos, que, como se ve en la figura 1 se acerca mucho a la distribución de la recta.

Figura 1.

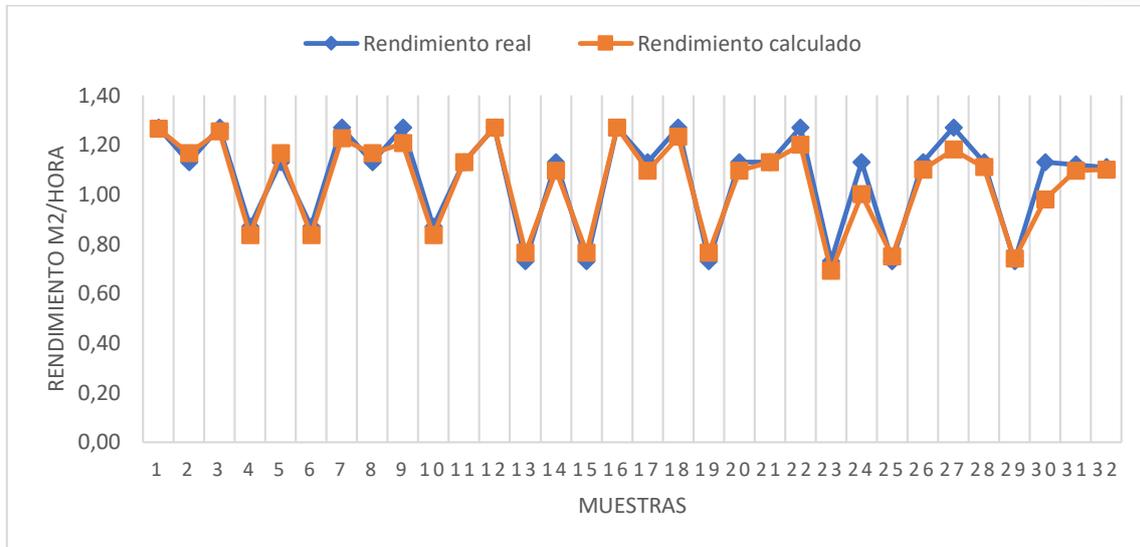
Gráfica Q-Q



Para evidenciar la eficiencia del modelo para predecir el rendimiento de los obreros en la actividad de colocación de enlucidos de mampostería, se presenta en la figura 2, una comparación entre el rendimiento promedio real y el rendimiento calculado o rendimiento teórico que fue determinado a partir de la fórmula de la regresión lineal.

Figura 2.

Comparación de rendimientos, teórico y real

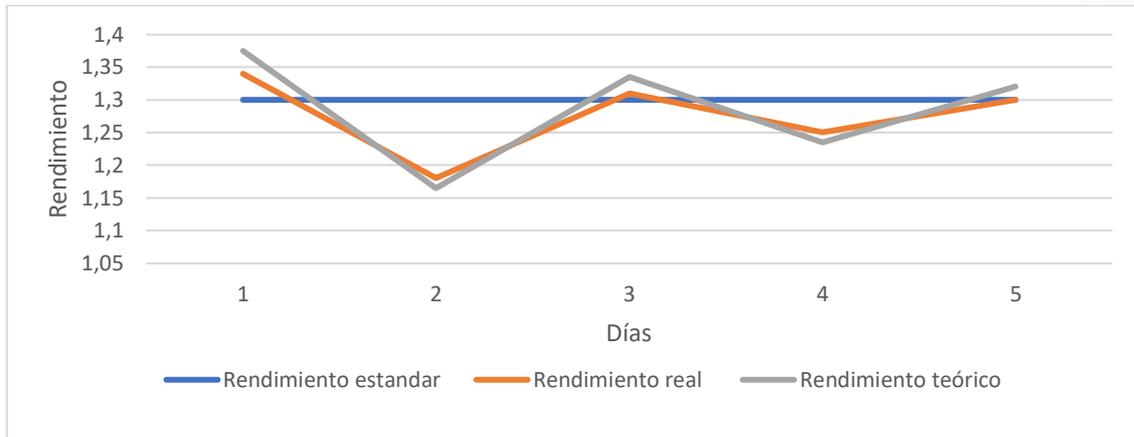


Con el propósito de validar la eficacia de la fórmula determinada, se procedió a aplicarla en seis obras distintas a aquellas utilizadas en la primera recopilación de datos. En dicha fase, se registraron datos relativos al tiempo, temperatura, tipo de suelo, características de la cubierta, nivel de dificultad, riesgos, métodos de trabajo y habilidad de los operarios, así como el rendimiento al término de cada jornada. Este proceso se llevó a cabo durante una semana completa, asegurando así que los cálculos de rendimiento obtenidos guardaran coherencia con los rendimientos reales observados. Además, se compararon estos resultados con el rendimiento estándar establecido por el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) municipal de Cuenca para la actividad de colocación de enlucidos de mampostería.

Como se evidencia en la Figura 3, el rendimiento estimado por el GAD de Cuenca es de 1.3 m²/hora. Sin embargo, los rendimientos de los trabajadores en la obra 1 fluctuaron a lo largo de los días de recopilación de datos, siendo el día 2 el que muestra el rendimiento más bajo y el día 1 el de rendimiento más alto. La fórmula desarrollada demostró su eficacia al prever con precisión el rendimiento de los trabajadores, ya que los valores calculados se asemejan a los rendimientos observados. Al analizar las características de los factores en estos dos días específicos, se observó que las únicas condiciones que variaron fueron el tiempo y el nivel de peligro asociado a la actividad. En el día 1, se registró un clima nublado y un nivel de peligro considerado normal, dado que los trabajadores estaban en una primera planta. Por otro lado, en el día 2, se presentó llovizna y un nivel de peligro moderado, ya que el enlucido se llevó a cabo en un andamio.

Figura 3.

Comparación de rendimientos en la obra Iexterna a la muestra



A continuación, se presenta en la tabla 4 los valores de rendimiento estándar del GAD de Cuenca, el rendimiento real que obtuvieron los trabajadores y el rendimiento teórico calculado por el modelo matemático basado en la regresión lineal de las 6 obras. Como se puede observar los rendimientos reales de los obreros no se mantienen estáticos, varían en función de las condiciones de cada día y la formula logra anticipar con precisión estas variaciones.

Tabla 3

Coefficientes del modelo – rendimiento

Obra	Día	Tiempo	Temperatura	Suelo	Cubierta	Dificultad	Peligro	Tajo	Habilidad	Rendimiento Estándar	Rendimiento real	Rendimiento calculado
Obra 1	1	4	3	3	3	3	3	3	5	1,3	1,34	1,38
	2	3	3	3	3	3	4	3	5	1,3	1,18	1,17
	3	4	1	4	5	3	4	4	3	1,3	1,31	1,34
	4	5	5	4	3	3	4	3	3	1,3	1,25	1,24
	5	4	3	4	4	3	3	3	3	1,3	1,3	1,32
Obra 2	1	1	1	3	5	1	3	2	5	1,3	1,28	1,27
	2	1	1	2	5	1	2	3	5	1,3	1,31	1,34
	3	3	3	3	3	1	2	3	5	1,3	1,24	1,24
	4	1	1	2	3	1	1	2	5	1,3	1,18	1,17
	5	4	5	3	3	1	3	2	5	1,3	1,34	1,38
Obra 3	1	2	1	2	5	1	1	3	5	1,3	1,35	1,55
	2	5	3	3	3	3	4	2	5	1,3	1,32	1,52

Tabla 3

Coefficientes del modelo – rendimiento (continuación)

Obra	Día	Tiempo	Temperatura	Suelo	Cubierta	Dificultad	Peligro	Tajo	Habilidad	Rendimiento Estándar	Rendimiento real	Rendimiento calculado
	3	5	5	3	3	3	3	3	5	1,3	1,32	1,52
	4	5	3	4	1	3	4	2	5	1,3	1,12	1,14
	5	5	3	4	3	3	4	3	5	1,3	1,25	1,38
	1	5	3	3	3	1	4	2	5	1,3	1,35	1,45
	2	5	1	4	1	1	3	3	5	1,3	1,12	1,07
Obra 4	3	5	1	4	3	1	2	2	5	1,3	1,35	1,52
	4	5	1	4	1	1	2	4	5	1,3	1,12	1,07
	5	5	1	4	3	1	2	3	5	1,3	1,35	1,45
	1	3	3	3	3	3	3	3	3	1,3	1,12	1,10
	2	4	3	4	3	3	3	2	3	1,3	1,25	1,24
Obra 5	3	3	1	3	5	3	3	4	3	1,3	1,35	1,34
	4	4	5	4	3	3	3	3	3	1,3	1,12	1,17
	5	4	3	4	3	3	3	2	3	1,3	1,12	1,24
	1	3	3	4	5	3	4	3	3	1,3	1,35	1,27
	2	2	1	3	5	3	3	2	3	1,3	1,35	1,34
Obra 6	3	2	1	4	5	3	3	4	3	1,3	1,12	1,13
	4	4	5	4	3	3	3	3	3	1,3	1,12	1,17
	5	4	3	4	5	3	3	4	3	1,3	1,35	1,41

Discusión

Los resultados obtenidos revelaron que, si bien tanto los factores externos como internos de una obra tienen la capacidad de influir en el rendimiento de la mano de obra, al incorporarlos de manera conjunta en el modelo matemático, solo algunos de estos factores son capaces de prever con precisión el rendimiento que puede alcanzar un obrero. En el contexto de la actividad de enlucidos de mampostería, el análisis estadístico demostró que únicamente los factores de tiempo, temperatura, tipo de suelo, características de la cubierta, nivel de dificultad, riesgos asociados, métodos de trabajo y habilidad del trabajador pueden realizar esta predicción mediante la regresión lineal.

A pesar de que el GAD de Cuenca presenta un rendimiento estimado de 1.3 m²/hora, estos valores no se mantuvieron constantes y fluctuaron en función de los factores mencionados anteriormente, lo que indica que las variaciones en las condiciones pueden influir en el rendimiento de los trabajadores. Por lo tanto, para realizar estimaciones precisas sobre el

rendimiento real de un obrero, no se puede depender exclusivamente de los estándares globales de las organizaciones, sino que se deben considerar detalladamente los factores específicos del entorno de trabajo.

El modelo de regresión lineal desarrollado en esta investigación demostró su eficacia al prever con precisión el rendimiento de obras externas a la muestra inicial, validando así su aplicabilidad en la parroquia Yanuncaí bajo las condiciones mencionadas anteriormente. De esta manera, los gestores de obras pueden utilizar este modelo para anticipar el rendimiento de sus trabajadores teniendo en cuenta las condiciones laborales, climáticas y las habilidades de los obreros.

Conclusiones

- A través de la recopilación de datos de los trabajadores, se pudo demostrar que el modelo de regresión lineal es capaz de predecir con precisión el rendimiento que un trabajador puede alcanzar en la actividad de colocación de enlucido con mortero, considerando tanto factores internos como externos.
- El análisis del rendimiento real de los trabajadores reveló diferencias significativas entre la teoría y la práctica. Mientras que el rendimiento teórico estándar establecido por el municipio sigue un patrón lineal y no considera las posibles variaciones en el sitio de trabajo, el rendimiento promedio calculado mediante el modelo matemático se ajusta de manera coherente a estas variaciones, lo que sugiere una mayor precisión en la estimación del rendimiento real.
- Aunque varios factores tanto internos como externos pueden influir en el rendimiento final de los trabajadores, el análisis estadístico demostró que solo ciertos factores, incluyendo el tiempo, la temperatura, el tipo de suelo, las características de la cubierta, el nivel de dificultad, los riesgos asociados, los métodos de trabajo y la habilidad del trabajador, pueden predecir de manera efectiva el rendimiento mediante la regresión lineal.
- El modelo matemático desarrollado en esta investigación ofrece la capacidad de prever el rendimiento de la mano de obra en la colocación de enlucido con mortero, teniendo en cuenta múltiples factores relacionados con las obras. Esto brinda una mayor capacidad de planificación de los tiempos de ejecución para los administradores del sector de la construcción en la ciudad de Cuenca, específicamente en Yanuncaí. Además, dada la homogeneidad de las condiciones en las provincias de Cuenca, existe la posibilidad de que este modelo pueda ser aplicado en otros sectores de la misma ciudad con resultados similares.

Conflicto de intereses

No existe conflicto de intereses

Agradecimiento

El presente artículo es parte del trabajo de investigación y titulación del Programa de Maestría en Construcciones con mención en Administración de la Construcción Sustentable de la Universidad Católica de Cuenca, por ello agradecemos a todos y cada uno de los instructores pertenecientes a los grupos de investigación; Ciudad, Ambiente, y Tecnología(CAT), y Sistemas embebidos y visión artificial en ciencias, Arquitecturas, Agropecuarias, Ambientales y Automática (SEVA4CA), por los conocimientos e información brindados para la elaboración del trabajo.

Referencias bibliográficas

- Abdelnour, E. M. (2022). Estimación de rendimientos de mano de obra y material en la aplicación de morteros de repello industrializado en proyectos de vivienda. *Métodos y Materiales*, 12, 32-41. <https://doi.org/10.15517/mym.v12i0.47921>
- Adebowale, O. J., y Agumba, J. N. (2022). A scientometric analysis and review of construction labour productivity research. *International Journal of Productivity and Performance Management*, ahead-of-print(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/IJPPM-09-2021-0505>
- Azeem, M., Ullah, F., Thaheem, M. J., y Qayyum, S. (2020). Competitiveness in the construction industry: A contractor's perspective on barriers to improving the construction industry performance. *Journal of Construction Engineering*, 3, 193-219. <https://doi.org/10.31462/jcemi.2020.03193219>
- Botero Botero, L. F. (2002). Análisis de Rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción. *Revista Universidad EAFIT*, 38(128), 9-21. <http://repository.eafit.edu.co/handle/10784/17243>
- Castillo, E. B., Arévalo, A. Q., Revilla, A. C., y Alarcón, H. A. M. (2021). Gestión por resultados en el desempeño de especialistas del área de Gestión Pedagógica-UGEL, Utcubamba, Amazonas. *Revista Científica Pakamuros*, 9(2), Article 2. <https://doi.org/10.37787/4hgv8x10>
- Díaz-Kovalenko, I. E., Larrea-Rosas, K. P., y Barros-Naranjo, J. (2022). El sector de la construcción en la economía ecuatoriana, importancia y perspectivas. *Ciencias Sociales y Económicas*, 6(2), Article 2. <https://doi.org/10.18779/csye.v6i2.598>
- Encalada-Terreros, A. C., y Calle-Castro, C. J. (2021). Determinación del rendimiento para la actividad de excavación a mano en la ciudad de Cuenca. *Domino de las Ciencias*, 7(2), Article 2. <https://doi.org/10.23857/dc.v7i2.1830>

- Flores, O. G. M., Baidal, N. E. C., Almeida, P. A. A., y Choez, C. G. P. (2019). Oferta y Demanda en Mercados Competitivos: Enfoque al Sector de la Construcción en el Ecuador. *Visionario Digital*, 3(2), Article 2.
<https://doi.org/10.33262/visionariodigital.v3i2.396>
- Flores-Juca, E., y Carrera, M. B. (2022). Análisis prospectivo de la incidencia de la expansión urbana en el ámbito de la planificación territorial: ciudad de Cuenca. *Revista Geoespacial*, 19(1), Article 1.
<https://doi.org/10.24133/geoespacial.v19i1.2817>
- Herrera, J. F. R., Campoverde, J. D. Q., y Calle, M. A. (2023). Análisis y propuesta de mejora del rendimiento de mano de obra en la instalación de cerámica para pisos en el cantón Cuenca. *Polo del Conocimiento*, 8(1), Article 1.
<https://doi.org/10.23857/pc.v8i1.5159>
- Mahzuz, H. M. A., Bhuiyan, Md. M. H., y Oshin, N. J. (2020). Influence of delayed casting on compressive strength of concrete: An experimental study. *SN Applied Sciences*, 2(3), 316. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2135-3>
- Oboreh, J., Eze, E., y Egwunatum, S. (2022). *Impact of productivity on the survival of construction organisations in a competitive market*. 25, 1-18.
- Osorio, N. E. G., y Cazares, X. del C. T. (2019). La construcción en el Producto Interno Bruto del Ecuador, 2000-2018. *PODIUM*, 35, Article 35.
<https://doi.org/10.31095/podium.2019.35.4>
- Pheng, L. S., y Hou, L. S. (2019). The Economy and the Construction Industry. *Construction Quality and the Economy*, 21-54. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5847-0_2
- Sugiyanto, S., Wena, M., y Dewi, C. P. (2022). Effect of socioeconomic conditions and work environment on labour productivity in bricklaying and plastering walls for single-storey house. *AIP Conference Proceedings*, 2489(1), 030032.
<https://doi.org/10.1063/5.0094770>
- Tola, C. F. G., Mora, S. L. C., y Quiroz, P. T. V. (2023). Rendimiento de mano de obra en excavaciones a mano mediante regresión lineal. Caso de estudio: Ciudad de Cuenca. *Ciencia Digital*, 7(3), Article 3.
<https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v7i3.2629>
- Valdez, J. D. C., y Toledo, J. F. T. (2021). Análisis del rendimiento de la mano de obra en la construcción del rubro de enlucido liso en la ciudad de Cuenca. *ConcienciaDigital*, 4(4.1), Article 4.1.
<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i4.1.1921>

Zhang, X., He, W., y Gao, T. (2021). Construction Company Competitiveness Research on Informationization Policies. *Proceedings of the 4th International Conference on Information Management and Management Science*, 24-30.
<https://doi.org/10.1145/3485190.3485195>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Conciencia Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Conciencia Digital**.



Indexaciones

