

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

INGENIO

VOL. V, N.º 2, 2022 | eISSN: 2697-3243 | pISSN: 2588-0829

INGENIERÍA, INNOVACIÓN E INVESTIGACIÓN

Revista Ingenio es una revista semestral de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad Central del Ecuador fundada en el año 2017 | Vol. 5, núm. 2 | julio-diciembre 2022 | p-ISSN 2588-0829 e-ISSN 2697-3243 |

Autoridades

Dr. Fernando Sempértegui Ontaneda, Ph. D.
Rector de la Universidad Central del Ecuador

Ing. Diego Paredes Méndez, M.Sc.
Decano, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Ing. Flavio Arroyo Morocho, Ph. D.
Subdecano, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Editor
Flavio Arroyo Morocho

Consejo Editorial

Ing. Diego Paredes Méndez, M. Sc., Presidente, Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Ing. Flavio Arroyo Morocho, Ph.D., Editor, Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Ing. Abel Remache Coyago, M. Sc., Editor académico, Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Ing. Paulina Viera Arroba, M. Sc., Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Dr. Johannes Ritz, MA., MIB., Ph. D. (c), EU Business School Munich, ALEMANIA
Dra. Teresa Magal-Royo, Ph. D., Universidad Politécnica de Valencia, ESPAÑA
Dr. Andrés Vivas Albán, Ph. D., Universidad del Cauca, COLOMBIA
Dr. Boris Heredia Rojas, Ph. D., Universidad del Norte, CHILE
Dr. Jaime Duque Domingo, Ph. D., Universidad de Valladolid, ESPAÑA
Dr. Giovanni Herrera Enríquez, Ph. D., Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, ECUADOR
Dr. José Luis Paz, Ph. D., Universidad Nacional Mayor de San Marcos, PERÚ
Dr. Jesús López Villada, Ph. D., Universidad Internacional SEK, ECUADOR
Dr. Michel Vargas, Ph. D., Escuela Politécnica Nacional-EPN, ECUADOR
Dr. Andrés Robalino-López, Ph. D., Escuela Politécnica Nacional-EPN, ECUADOR

Consejo Asesor y Evaluador

Mat. Rodrigo Bastidas, M.Sc., Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, ECUADOR
Fis. Iván Vega, M.Sc., Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ECUADOR
Ing. Galo Flor Terán, MBA., Universidad Tecnológica Equinoccial UTE, ECUADOR
Ab. Diana Heredia, M.Sc., Universidad de los Hemisferios, ECUADOR
Arq. Rosa Mishell Echeverría, M.Sc., Universidad Central del Ecuador UCE, ECUADOR
Arq. Patricia Almeida, M.Sc., Universidad Politécnica Nacional EPN, ECUADOR
Ing. Alfonsina Rodríguez, M.Sc., Universidad Internacional SEK, ECUADOR
Ing. Raymond Suárez, M.Sc., Contraloría General del Estado, ECUADOR
Ing. Esther Campos Serulla, Ph.D., Universidad Politécnica de Valencia, ESPAÑA
Dis. Diego Ismael Jordan, MsD, Universidad Técnica de Ambato UTA, ECUADOR
Ing. César Silva Cueva, Mgs., Unidad Educativa Fiscomisional María Auxiliadora, ECUADOR
Ing. Juan Alejandro Toapanta, M.Sc., Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio, ECUADOR
Ing. Víctor Hugo Aguirre, M.Sc., Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio, ECUADOR
Ing. Andrés Castillo, M.Sc., Universidad Internacional del Ecuador UIDE, ECUADOR
Ing. Germán Erazo Laverde, M.Sc., Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ECUADOR
Ing. Atal Kumar Vivas, M.Sc., Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ECUADOR

Este número estuvo bajo la coordinación editorial del Ing. Flavio Arroyo, Ph. D., Ing. Abel Remache, M. Sc., y Lic. Tatiana Freire, M. Sc.

Revista Ingenio
fing.revista.ingenio@uce.edu.ec
vicedecanat.fing@uce.edu.ec
<http://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/INGENIO/index>

Diseño y diagramación | Christian Echeverría
Corrección de textos | Marcelo Acuña
Portada | Jonathan Morales

Editorial Universitaria, 2022
Ciudadela Universitaria, Av. América, s. n.
Quito, Ecuador
+593 (02) 2524 033
editorial@uce.edu.ec



Los contenidos pueden usarse libremente, sin fines comerciales y siempre y cuando se cite la fuente.
Si se hacen cambios de cualquier tipo, debe guardarse el espíritu de libre acceso al contenido.

ÍNDICE

Estadística Bayesiana para la Inferencia sobre el Comportamiento Electoral 4 <i>Vivas A., Vivas D., Santillán A.</i>	4
Revisión de la Economía Circular como Modelo Económico del sector Textil en Ecuador 14 <i>Bravo D., Caiza G.</i>	14
La Maqueta como Recurso Didáctico para la Enseñanza de Matemática en Arquitectura 24 <i>Bastidas A., Maquilón J., Chávez C.</i>	24
Non-Powered Hand Tool: Size Selection from an Anthropometric Ergonomic Point of View..... 31 <i>Arciniega R., Erazo V., Gyula S.</i>	31
Análisis de la Eficiencia de los Grupos Financieros del Ecuador. Una propuesta no Paramétrica Basada en el Análisis Envoltante de Datos en Dos Etapas 39 <i>Villareal F., Rodríguez P.</i>	39
Prácticas Organizacionales Generadoras de Sobrecarga Laboral en el Personal Administrativo de un Hospital Público y Prevalencia de Síntomas de Burnout 51 <i>Haro L., Villalobos G.</i>	51
Ecodiseño de Envases y Empaques como Estrategia para la Disminución de Impactos Ambientales Negativos 56 <i>Gutiérrez L.</i>	56
Análisis de Protecciones Eléctricas de Microgrids Modo Isla con Elevada Penetración de Energías Renovables no Convencionales 69 <i>Ortiz K.</i>	69
Comportamiento de Temperaturas Top Oil y Hot Spot en Transformadores Sumergidos en Aceite Mediante el Ingreso de Carga de Vehículos Eléctricos 76 <i>Arias F., Freire A.</i>	76
Normas para publicar en la revista INGENIO..... 86	86

La Revista INGENIO es el órgano de divulgación especializada de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad Central del Ecuador; su objetivo es la difusión de investigaciones técnicas y científicas en los campos de Ingeniería Civil, Ingeniería Informática/Sistemas de Información, Ingeniería en Diseño Industrial e Ingeniería en Computación Gráfica/Computación. Es de periodicidad bianual y está dirigida a personas que esten inmersas tanto en el ámbito académico como industrial y a quienes les pueda interesar conocer de temas e investigaciones que se realizan dentro del ámbito de la revista.

La revista INGENIO utiliza el Open Journal Systems (OJS) como sistema de gestión editorial, desarrollado por Public Knowledge Project (PKP). Todos los manuscritos a ser considerados para publicación deben ser enviados a través de este sistema.

Los artículos de la revista INGENIO usan el sistema DOI el cual proporciona una infraestructura técnica y social para el registro y uso de identificadores interoperables persistentes, para su uso en redes digitales.

La revista INGENIO se encuentra indexada en:





Estadística Bayesiana para la Inferencia sobre el Comportamiento Electoral

Bayesian Statistics for Inference over Electoral Behavior

Atal Kumar Vivas Paspuel | [iD](#) Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Quito, Ecuador

David Alfredo Vivas Paspuel | [iD](#) Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador

Alberto Benjamín Santillán Tituaña | [iD](#) Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Quito, Ecuador

ARTICLE HISTORY

Received: 25/3/2022

Accepted: 27/10/2022

KEY WORDS

Markov chain, Monte Carlo, bayesian models, hierarchical models, ecological inference.

ABSTRACT

Los resultados que proporcionan las entidades electorales no permiten conocer el apoyo a los partidos por clases sociales, grupos de edad o razas. En este trabajo, se dividió a la población electoral por clases de edad y se realizó inferencias sobre las proporciones de apoyo por edad para los partidos Alianza País y CREO, los más importantes de la contienda presidencial en Ecuador en 2013. Se tomaron los resultados de la contienda política en tablas de contingencia de tamaño $R \times C$ a nivel parroquial y por medio de la inferencia ecológica se estiman las proporciones de apoyo hacia los candidatos por parte de dichas clases. Las inferencias se realizaron a través de técnicas bayesianas con un modelo jerárquico Dirichlet-Multinomial y se utilizaron métodos computacionales Markov Chain Montecarlo ejecutados por el paquete RStan.

PALABRAS CLAVE

Cadenas de Markov, Monte Carlo, modelos bayesianos, inferencia ecológica.

RESUMEN

Los resultados que proporcionan las entidades electorales no permiten conocer el apoyo a los partidos por clases sociales, grupos de edad o razas. En este trabajo, se dividió a la población electoral por clases de edad y se realizó inferencias sobre las proporciones de apoyo por edad para los partidos Alianza País y CREO, los más importantes de la contienda presidencial en Ecuador en 2013. Se tomaron los resultados de la contienda política en tablas de contingencia de tamaño $R \times C$ a nivel parroquial y por medio de la inferencia ecológica se estiman las proporciones de apoyo hacia los candidatos por parte de dichas clases. Las inferencias se realizaron a través de técnicas bayesianas con un modelo jerárquico Dirichlet-Multinomial y se utilizaron métodos computacionales Markov Chain Montecarlo ejecutados por el paquete RStan.

I. INTRODUCCIÓN

Los datos que arrojan las instituciones oficiales sobre resultados electorales están siempre limitados a mostrar el apoyo hacia un partido político o candidato en forma agregada. Por ejemplo, para las elecciones presidenciales del Ecuador en 2013, la información de carácter general muestra que el 57,2% de los votantes apoyaron a Alianza

País (AP), mientras que el 22,7% apoyó al movimiento CREO [1]. Esta información también está dada por provincias y otras subdivisiones políticas. Sin embargo, sabiendo que el voto es secreto, es lógico suponer que este conteo electoral no nos permite conocer las proporciones de apoyo de grupos o clases sociales hacia los candida-

tos. Sería difícil conocer el apoyo de cierta raza, grupo de edad o cierta clase social hacia los partidos políticos. Este es el denominado problema de la inferencia ecológica y fue abordado desde el siglo anterior por varios autores que propusieron métodos para su solución como el determinístico de los intervalos, [2] la regresión ecológica, [3] el método EI [4] o más recientemente con técnicas de aprendizaje para regresiones de distribución, [5] técnicas de programación lineal, [6] técnicas de optimización, [7] entre otros. A pesar de sus deficiencias, la inferencia ecológica sigue siendo una parte necesaria de algunas áreas de inferencia cuantitativa. Algunos ejemplos en el campo de las ciencias políticas electorales son [8], [9] y [10].

Para realizar las inferencias, este trabajo aplicó un modelo jerárquico bayesiano para tablas de contingencia de tamaño $R \times C$ [11] sin el uso de covariables. Este modelo es una extensión del modelo jerárquico bayesiano para el caso de tablas 2×2 [12]. Dada la complejidad de los cálculos de las distribuciones para los parámetros de interés, se utilizaron técnicas computacionales Markov Chain Monte Carlo mediante el lenguaje RStan para la configuración del modelo. Los resultados obtenidos son las inferencias sobre los parámetros de las distribuciones *a posteriori* para las variables de interés. Esto permitió presentar los resultados en forma geográfica a nivel de parroquias¹ para los partidos de la contienda electoral y se analizaron los resultados.

Para la construcción de las tablas de contingencia se tomaron dos fuentes de datos: la información que proporciona el INEC, [13] sobre la población por edades para cada parroquia y los resultados oficiales de la contienda electoral en cada parroquia. La primera base de datos nos permite dividir al electorado en grupos de edades, más específicamente se ha dividido la población en los grupos de edad: 16-29, 30-44, 45-60 y > 60 años. Se obtuvo la cantidad de personas en cada parroquia que pertenecen a estas clases. La segunda base de datos nos permite ver el apoyo hacia los dos partidos políticos de forma agregada para la contienda electoral del 2013, de modo que se tengan tres grupos: cantidad de votantes que apoyaron al partido ganador AP, cantidad de votantes que apoyaron al partido CREO y cantidad de votantes que optaron por apoyar a otro partido político, abstenerse o anular el voto.

Estos modelos tienen algunas desventajas: 1) existe poca investigación sobre la precisión de los métodos que extienden la inferencia ecológica al caso $R \times C$; 2) se debe tener precaución al utilizarlos, especialmente en aquellos casos en los que las estimaciones involucran tablas

de contingencia grandes, las estimaciones pueden resultar sesgadas en los casos en que los partidos políticos son pequeños; [14] 3) suelen apoyarse en supuestos que son difíciles verificar, en la mayoría de casos requieren una considerable capacidad de hardware para ser implementados y aun así no lograr la convergencia para los algoritmos MCMC. Sin embargo, hay evidencias en favor de utilizar estos métodos de inferencia para obtener estimaciones válidas sobre este tipo de fenómenos [14].

2. MÉTODO

La inferencia ecológica es el proceso de aprendizaje acerca del comportamiento individual a partir de datos agrupados, es decir, hacer predicciones a nivel desagregado a partir de datos agregados [15]. Una manera de entender el problema de la inferencia ecológica es considerar una tabla de contingencia cuyas entradas dentro de ella sean desconocidas y sus marginales conocidas. Tomemos la siguiente tabla de contingencia de tamaño $R \times C$, donde $R=4$ y $C=3$ (ver Tabla 1).

Las cantidades marginales por recinto electoral T_{1i} y T_{2i} , se las puede obtener en los resultados de las contiendas electorales por cada parroquia y son las cantidades totales de votos que recibieron AP y CREO, respectivamente, la tercera columna muestra los votos anulados y abstenciones. Las cantidades marginales X_{1i} , X_{2i} y X_{3i} se las puede obtener en la información que proporcionan los censos nacionales y corresponden a los grupos de edades respectivos. Sin embargo, las cantidades al interior de la tabla no se las puede conocer directamente dado que el voto es secreto. De este modo, se trata de inferir las intersecciones de la tabla de contingencia: $\beta_{11}^i, \dots, \beta_{42}^i$.

Tomando la nomenclatura de [11] la información consta de recintos electorales (parroquias), para cada recinto i ($i=1,2,\dots,p$), se tiene la cantidad de personas que acudieron a las urnas. Podemos observar las proporciones del electorado que apoyaron a un partido específico: $T_{1i}, T_{2i}, \dots, T_{Ci}$ y las fracciones del electorado en las diferentes clases de edad: $X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{Ri}$. Las variables de interés a inferir son las fracciones del electorado que pertenecen a la clase c , que votaron por el partido c : β_{rc}^i , donde $r=1,\dots,R, c=1,\dots,C-1$.

2.1. LOS MODELOS BAYESIANOS

El paradigma bayesiano afirma que la probabilidad de un evento puede estar sujeto al grado de creencia que tengamos sobre ese evento, de hecho, en los modelos bayesianos están sujetos a esta idea, por tanto, se les asigna dicho grado de creencia. Esto implica que, de acuerdo con nuestro grado de creencia, podemos elaborar

1 En Ecuador, las parroquias son parte de la división política y en este trabajo serán tratadas como recintos electorales.

Tabla 1.

Tabla de contingencia RxC que establece las clases por edad y apoyo a AP, CREO y el resto de los candidatos que incluye votos nulos y blancos.

Grupo etario	Partido AP	Partido CREO	Otros	Total
16 - 29	β_{11}^i	β_{12}^i	$1 - \sum_{c=1}^2 \beta_{1c}^i$	X_{1i}
30 - 44	β_{21}^i	β_{22}^i	$1 - \sum_{c=1}^2 \beta_{2c}^i$	X_{2i}
45 - 60	β_{31}^i	β_{32}^i	$1 - \sum_{c=1}^2 \beta_{3c}^i$	X_{3i}
> 60	β_{41}^i	β_{42}^i	$1 - \sum_{c=1}^2 \beta_{4c}^i$	$1 - \sum_{r=1}^3 X_{ri}$
Total	T_{1i}	T_{2i}	$1 - \sum_{c=1}^2 T_{ci}$	

Fuente. Elaboración propia.

distribuciones de probabilidad y agregarles valores de probabilidad a estas, basados en este criterio. Por supuesto que también se requiere de una verificación de nuestras suposiciones acerca de los parámetros y esto lo podemos realizar mediante el cálculo de una verosimilitud [16]. De acuerdo con todo esto, podemos apoyarnos en el teorema de Bayes aplicado a distribuciones continuas de probabilidad. El paradigma bayesiano se puede resumir en la siguiente fórmula: [17]

$$p(\theta|x) = \frac{p(x|\theta)p(\theta)}{\int_{\Theta} p(x,\theta)d\theta} \quad (1)$$

En donde, $p(\theta)$ representa nuestro grado de creencias sobre el parámetro θ , denominada también como distribución *a priori* justamente al representar grados de creencia. Tenemos también $p(x|\theta)$ a que representa la verosimilitud para los datos. Por otro lado, la integral $\int_{\Theta} p(x,\theta)d\theta$ representa la probabilidad total de los datos si tomamos en cuenta el espacio total para el parámetro θ . Finalmente, $p(x|\theta)$ es la distribución de probabilidad para θ dados los datos, también llamada la distribución *a posteriori*. Todo esto se da con el fin de obtener $p(x|\theta)$ a partir de $p(\theta,x)$ y $p(\theta)$.

Una forma de resumir la construcción de un modelo del tipo bayesiano puede ser: [17] 1) Primero, se debe elaborar un modelo que tome en cuenta todas las variables que entran en juego para el modelo o fenómeno a estudiar. Se debe tomar en cuenta que este modelo debe mostrar coherencia con los datos históricos y el conocimiento construido con anterioridad a partir de los datos. 2) Elaborar las distribuciones de probabilidad *a posteriori* para las cantidades desconocidas, pero condicionadas a las cantidades observadas del modelo. Se deben tomar en cuenta para estos cálculos la inclusión de parámetros y posibles predicciones. 3) Finalmente, se debe realizar una evaluación del modelo que ha sido ajustado a los datos.

2.1.1. Modelos jerárquicos bayesianos

Puede ocurrir que la densidad *a priori* para nuestros datos x , $P(x|\theta)$, dependa de r parámetros, es decir, $\theta=(\theta_1, \dots, \theta_r)$, además, si los θ_i son independientes e idénticamente distribuidos, podemos creer adicionalmente, que estos r parámetros están relacionados de algún modo por medio de una densidad con su propio parámetro ϑ , al que llamaremos hiperparámetro. Si ϑ es desconocido, ento-

ces estamos ante una hiperdensidad *a priori* que representa nuestras creencias acerca de los datos [16]. Si el modelo es construido con este criterio, estamos bajo un modelo jerárquico y puede estar conformado por varios niveles dependiendo del modelo. Este concepto puede ser aplicado cuando se intenta agrupar los datos en regiones geográficas o áreas locales como en nuestro caso y se espera que al «tomar prestada la fuerza» de las otras regiones, se mejore la eficiencia al reducir el error estándar de la estimación de cada región en particular [12].

Dado que, de acuerdo con el modelo o fenómeno a modelar, se debe escoger una distribución para el cálculo de $p(x|\theta)$, esta debería ser escogida de modo que el producto $p(x|\theta) p(\theta)$ resulte en una distribución que sea equivalente o del mismo tipo que $p(\theta)$, es decir, pertenezca a la misma familia de la distribución *a priori*. Desde el punto de vista matemático, la ventaja de esta condición es que cuando se dispone de nuevos datos, el modelo se actualiza de forma automática. Suele llamarse *distribución conjugada* a aquella que cumple la condición descrita anteriormente, y por lo tanto se dice que la distribución $p(\theta)$ es la distribución conjugada para $p(x|\theta)$. Para este trabajo, dado que usaremos un modelo multinomial-Dirichlet, [11] diremos que la distribución Dirichlet es la conjugada de la distribución multinomial [17].

Las suposiciones para este modelo son las siguientes: 1) Ausencia de autocorrelación espacial, [4] y es necesaria para construir la función de máxima verosimilitud y establece que condicionando en X_i , T_i y T_j son independientes en la media. Las violaciones de esta suposición de maneras empíricamente razonables (e incluso algunas no razonables) no parecen inducir mucho sesgo [15]. 2) La suposición más crítica establece que X_i deben ser independiente de los β_{rc}^i 's. Esta hipótesis es equivalente a asumir la inexistencia de sesgo en la agregación, lo que es necesario para obtener estimaciones consistentes para los parámetros de la distribución. Aunque se trata de una suposición sólida, y a menudo no se puede justificar en la práctica, sirve como un punto de partida útil para desarrollar modelos en condiciones más generales [18].

2.1.2. Modelo jerárquico multinomial Dirichlet

Para describir el modelo (ver Tabla 1) definimos: $T_i' = T_{1i}, T_{2i}, \dots, T_{ci}$ que definen a todos los individuos votantes de algún recinto que apoyaron con su voto a alguno de los partidos políticos. Debiendo tratar al modelo de forma jerárquica, [11] se procede a construir el primer nivel tomando en cuenta que los valores T_i' siguen una distribución multinomial con vector de parámetros $\theta_i = (\theta_{1i}, \theta_{2i}, \dots, \theta_{ci})^t$ y cantidad N_i , donde para N_i bajo la suposición de que $\sum_{c=1}^C \theta_{ci} = 1$.

El segundo nivel jerárquico se puede construir tomando las proporciones de apoyo $\beta_r^i = (\beta_{r1}, \beta_{r2}, \dots, \beta_{r,C-1})^t$ con $i=1, \dots, p$ y $r=1, \dots, R$ y vamos a asumir que siguen

distribuciones de probabilidad Dirichlet con parámetros $(\alpha_{r1}, \alpha_{r2}, \alpha_{r3})$. Finalmente, tenemos a los α_{rc} , en los que asumiremos que siguen una distribución gamma con parámetros (λ_1, λ_2) . En resumen, tenemos:

Primer nivel jerárquico

$$(T_{1i}', T_{2i}', T_{3i}') \sim \text{Multinomial}(N_i, \sum_{r=1}^4 \beta_{r1i} X_{ri}, \sum_{r=1}^4 \beta_{r2i} X_{ri}, \sum_{r=1}^4 \beta_{r3i} X_{ri}) \quad (2)$$

N_i = número de personas habilitadas a ejercer el voto en el recinto i , con

$$\sum_{c=1}^3 \theta_{ci} = 1 \quad (3)$$

Segundo nivel jerárquico

$$(\beta_{r1i}, \beta_{r2i}, \beta_{r3i}) \sim \text{Dirichlet}(\alpha_{r1}, \alpha_{r2}, \alpha_{r3}) \quad (4)$$

Tercer nivel jerárquico

$$\alpha_{rc} \sim \text{Gamma}(\lambda_1, \lambda_2) \quad (5)$$

El modelo jerárquico bayesiano obtenido puede ser ahora configurado en R mediante el paquete RStan. Stan es un paquete de software que crea muestras representativas de valores de parámetros de una distribución posterior para modelos jerárquicos complejos. Podemos especificar modelos para Stan y comunicarnos con Stan desde R a través de RStan. Stan utiliza un método Hamiltonian Monte Carlo (HMC). Stan opera con C++ compilado y permite una mayor flexibilidad de programación, especialmente útil para modelos inusuales o complejos [19].

3. MÉTODOS MARKOV CHAIN MONTE CARLO

El cálculo mediante métodos numéricos de las integrales, que suelen aparecer en los modelos bayesianos suele ser muy complejo, por lo tanto, se desarrollaron métodos más eficientes como las técnicas Monte Carlo que nos permiten obtener de forma más eficiente los diferentes parámetros de una distribución *a posteriori*. Además, las conocidas cadenas de Markov sirven para obtener muestras de la distribución *a posteriori* en lugar de trabajar con la distribución en sí. De este modo, uniendo ambas ideas, tenemos los métodos Markov Chain Monte Carlo. Los denominados modelos de Gibbs o Metropoli realizan el trabajo de construir la densidad *a posteriori* a partir de muestras [20].

Existen muchas aplicaciones actualizadas y que siguen la idea de los algoritmos de Metropoli. Este trabajo utiliza el método de muestreo Hamiltoniano Monte Carlo que se encuentra programado en el paquete Stan y que puede trabajar con R para su aplicación. Fundamentalmente, este método está basado en conceptos de las ciencias físicas en las que se aplica la teoría hamiltoniana para un sistema físico emulando las variables de la posición y sus energías. El vector de parámetro se corresponde con

la posición de un cuerpo en un espacio k -dimensional y el cálculo de la energía potencial se corresponde con la probabilidad. Las muestras son generadas por la cadena de Markov y luego se determina la energía cinética inicial de la misma, con esto se puede encontrar la trayectoria de la partícula [21].

Una de las ventajas de este tipo de software, como RStan, es que los modelos jerárquicos que en principio pueden ser difíciles de programar o configurar, se los puede configurar nivel a nivel completando la jerarquía del modelo. Para esto, se construyen las distribuciones para los datos tomando en cuenta los parámetros que los comandan. Luego, de acuerdo a la teoría de modelos jerárquicos, se crea la distribución para los parámetros, pero esta vez sujetos a los hiperparámetros. Se realiza este procedimiento el número de veces necesario hasta obtener todos los niveles de jerarquía del modelo. Este procedimiento posibilita construir un modelo completo para las diferentes cantidades y nos permite establecer en fórmulas de probabilidad lo que nosotros creíamos acerca de los datos y sus relaciones. La parte que corresponde al cálculo de la distribución *a posteriori* y la integración en el espacio de probabilidades la realiza el paquete RStan mediante las técnicas ya mencionadas.

Las métricas así como son las que el paquete RStan utiliza para medir y evaluar si la simulación de un modelo converge o no. La métrica es una medida de la precisión que se obtiene en las diferentes simulaciones efectuadas a través del cálculo del tamaño efectivo de la muestra. No todas las muestras en una cadena de Markov son efectivas, por lo tanto, la métrica es el número de muestras que efectivamente trabajaron. Los métodos Markov Chain Monte Carlo suelen producir muestras correlacionadas al efectuar las diferentes cadenas, por tanto, al realizar las diferentes estimaciones, como en el caso de las medias *a posteriori*, no resultan ser tan precisas como lo serían si se tomaran muestras independientes. Por lo tanto, el número de muestras efectivas es en realidad, una estimación del número de muestras verdaderamente independientes que conducirían a la misma precisión en el modelo [11].

Por otro lado, la métrica (factor de reducción de potencial de escala) indica el factor de escala por el cual la desviación estándar de la distribución para un parámetro determinado podría reducirse si el número de simulaciones tiende al infinito. Cuando la simulación alcanza la convergencia en la distribución *a posteriori* para el parámetro escogido, entonces el valor de debe ser 1. Debemos tomar en cuenta que estos procedimientos no equivalen a llevar a cabo una prueba de hipótesis, esto implica que no existe algún valor-p como valor de aceptación o rechazo de hipótesis y tampoco se tiene alguna significancia estadística, sino que más bien se evalúa la discrepancia de la convergencia de la distribución de forma práctica [17].

Se muestra el código de programación para el modelo de inferencia construido en lenguaje Stan:

```

data{
int N; // número de observaciones
int R; // número de grupos edad
int C; // categorías
int fcorrea [N]; // personas que apoyan AP
int flasso [N]; // personas que apoyan CREO
int otros [N]; // personas que apoyan otros
int ni [N]; // número total de votantes
real g1 [N]; // número de personas entre 16 y 29 años
real g2 [N]; // número de personas entre 30 y 44 años
real g3 [N]; // número de personas entre 45 y 56 años
real g4 [N]; // número de personas de 60 o más años
}
transformed data{
int Ti [N ,3];
  for (n in 1:N) {
    Ti [n,1]=correa[n];
    Ti [n,2]=lasso[n];
    Ti [n,3]=Fotros[n];
  }
}
parameters {
  fsimplex [C] fbetas [N, R];
  vector < lower=0.01> [C] falfas [N,R] ;
}

transformed parameters{
  fsimplex [C] ftheta [N] ;
  for (n in 1: N) {
    theta [n,1] =fbetas [n,1,1]*g1 [n] +fbetas [n,2,1]
    *g2 [n] +fbetas [n,3,1]*g3 [n] +fbetas [n,4,1]*g4 [n] ;
    ftheta [n,2] =fbetas [n,1,2]*g1 [n]+fbetas [n,2,2]
    *g2 [n] +fbetas [n,3,2]*g3 [n] +fbetas [n,4,2]*g4[n] ;
    ftheta [n,3]=fbetas [n,1,3]*g1 [n] +fbetas [n,2,3]
    *g2 [n]+fbetas [n,3,3]*g3 [n] +fbetas [n,4,3]*g4 [n];
  }
}
model {
  for (n in 1:N){
    for (i in 1: R) {
      for (j in 1:C){
        falfas [n,i,j]~fgamma(4,2);
      }
    }
  }
  for (n in 1: N) {
    for(i in 1: R) {
      fbetas [n,i ]~fdirichlet (falfas [n,i]);
    }
  }
  for (n in 1: N) {
    Ti[n]~fmultinomial (ftheta [n]);
  }
}

```

Tabla 2.

Parámetros simulados obtenidos para el recinto Camilo Ponce, en cada uno de los grupos etarios.

	mean	sd_mean	n_{eff}	$Rhat$
betas[1,1,1]	0.69	0.1	1311	1.00
betas[1,1,2]	0.13	0.06	1616	1.00
betas[1,1,3]	0.21	0.07	1227	1.00
betas[1,2,1]	0.51	0.13	1321	1.00
betas[1,2,2]	0.20	0.08	1641	1.00
betas[1,2,3]	0.31	0.14	1162	1.00
betas[1,3,1]	0.39	0.18	2000	1.00
betas[1,3,2]	0.22	0.10	2000	1.00
betas[1,3,3]	0.29	0.11	2000	1.00
betas[1,4,1]	0.41	0.14	2000	1.00
betas[1,4,2]	0.27	0.14	2000	1.00
betas[1,4,3]	0.31	0.15	2000	1.00

Fuente. Elaboración propia.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta sección muestra algunos resultados de las simulaciones realizadas para inferir el apoyo que recibieron los partidos AP y CREO en la contienda electoral presidencial del 2013. Se tomaron en cuenta 1223 recintos electorales (parroquias) que se encuentran a lo largo del territorio nacional y se presentan en todas las provincias del país, por lo tanto $p=1223$. El conjunto de personas habilitadas para el sufragio fue repartido en 4 clases según su edad, por lo tanto $R=4$. El estudio se realiza sobre los dos partidos políticos que obtuvieron la mayor votación, quedando un grupo de votantes que apoyó al resto de partidos no relevantes junto con los votos nulos y abstenciones, por lo tanto $C=3$. El objetivo es conocer cuánto apoyo recibieron estos dos partidos políticos de parte de la población votante. Las proporciones de apoyo son calculadas estadísticamente e indexadas por Stan siempre que se haya configurado el modelo de forma adecuada. La indexación se da a cabo mediante tres subíndices: i, j, k . El índice i corresponde al recinto (parroquia), el índice j corresponde al grupo de edad y el índice k corresponde al partido político al que apoyan cada uno de los individuos votantes.

La ejecución se realizó mediante cuatro cadenas. Para estos procesos, las iteraciones suelen dividirse en tipo calentamiento y tipo posterior. En este caso, se asignaron 500 iteraciones de calentamiento y 500 posteriores al mismo. Con esto se obtiene una muestra de 2000 simulaciones para la distribución *a posteriori* en cada uno de los parámetros, con esto se espera alcanzar la convergencia del método.

La tabla 2 ofrece los resultados de la simulación, ejecutados específicamente para el recinto Camilo Ponce que pertenece a la provincia del Azuay. Los parámetros que

han sido simulados por Stan son: media, desviación estándar de la media, y para cada una de las distribuciones *a posteriori* para esas cantidades. El método alcanzó la convergencia en las distribuciones para cada uno de los parámetros, esto lo verifica el valor $Rhat$ que para todos los casos es 1 (ver Tabla 2).

Los denominados *traceplots* son las gráficas que Stan muestra para la observación de las cadenas generadas en las simulaciones y en las que se puede apreciar visualmente la convergencia de las simulaciones (ver Figura 1). Se muestra los *traceplot* de las cadenas generadas por el método para el caso del recinto de Cumbayá que pertenece a la provincia de Pichincha. Estos *traceplots* corresponden a las simulaciones de las proporciones de apoyo hacia el partido político AP que recibió de los grupos de edad generados a partir de los datos de población. Los diferentes colores que se aprecian en los *traceplots* corresponden a las cuatro cadenas simuladas para los diferentes parámetros en el recinto definido. La forma visual de comprobar si las cadenas convergen es verificando que las iteraciones estén centradas alrededor de un mismo valor en forma horizontal.

Stan puede elaborar también las distribuciones de probabilidad *a posteriori* para las variables de interés. Se presentan estas gráficas (ver Figura 2) para el recinto de Cumbayá. Nuevamente, las iteraciones se dividieron en 500 de calentamiento, 500 de poscalentamiento y 1000 iteraciones para la simulación propiamente. Los diferentes colores corresponden a cada una de las cadenas y podemos ver que cada cadena converge prácticamente a la misma distribución.

Una manera general de ver el conjunto de resultados puede ser a través de mapas con escalas de color que muestran el nivel de apoyo hacia los partidos políticos

Figura 1.

Traceplots para las variables de interés del apoyo a AP en el recinto de Cumbayá

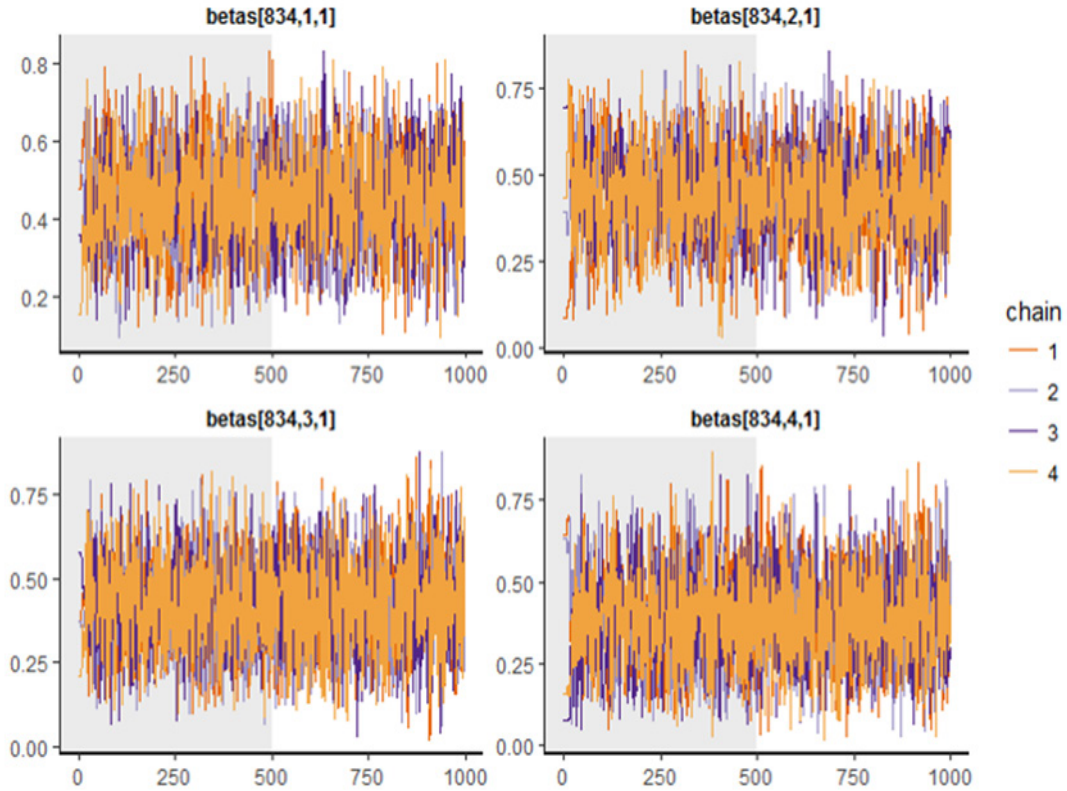
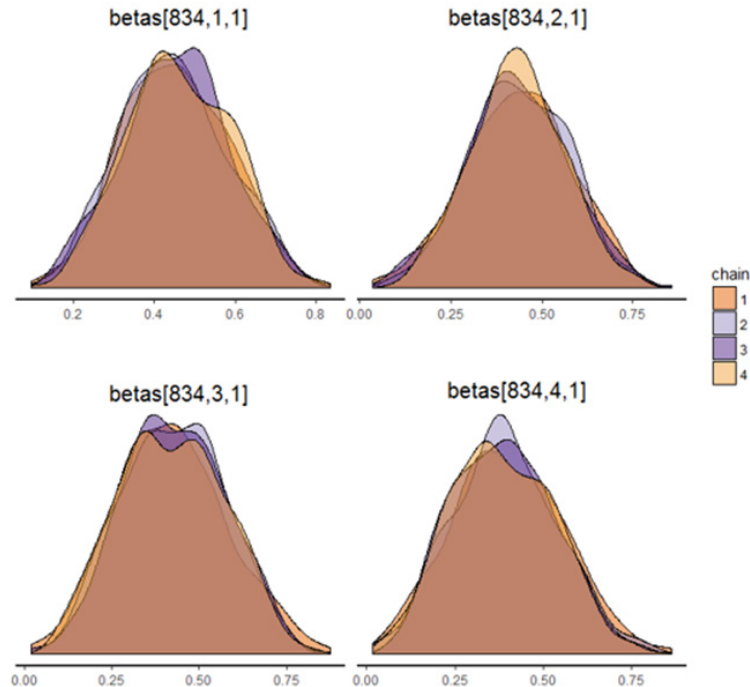


Figura 2.

Distribuciones de probabilidad a posteriori para las proporciones de apoyo de las diferentes clases etarias hacia AP en el recinto Cumbayá

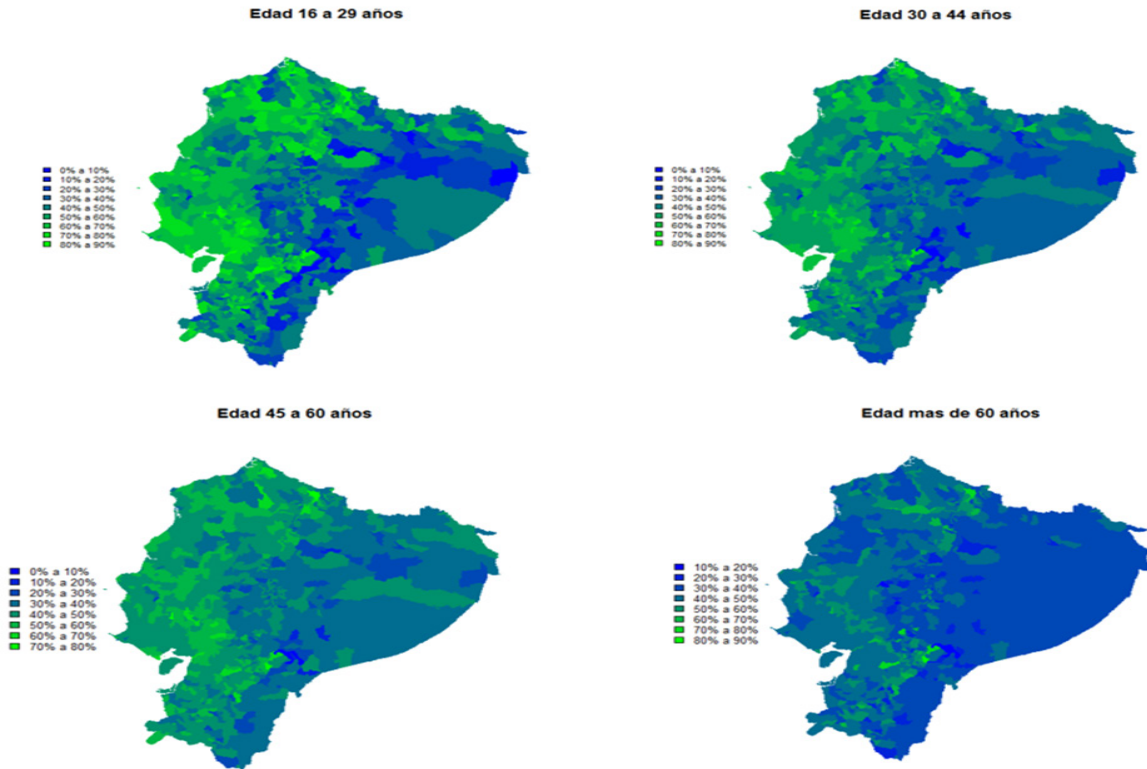


AP y CREO dependiendo del color y su intensidad. La figura 3 muestra el mapa descrito para el apoyo que recibió el partido AP. Se puede observar de forma general que la mayor proporción de apoyo que este partido recibió

corresponde al primer grupo etario, es decir, los votantes entre 16 y 29 años. Podemos apreciar que estas proporciones oscilan aproximadamente entre 50% y 70%. Además, los mapas muestran que la parte costera y una gran

Figura 3.

Apoyo que recibe AP de parte de las clases etarias en las elecciones presidenciales 2013



porción de la región andina fueron quienes apoyaron en mayor medida a este partido. La región oriental no parece presentar altos valores de apoyo. Además, parece ser que el apoyo hacia AP disminuye de forma considerable cuando aumenta la edad de los votantes (ver Figura 3).

La figura 4 muestra las proporciones de apoyo hacia el partido político CREO. La gráfica muestra que las clases etarias inferiores apoyaron en menor medida que las clases etarias más altas. Por ejemplo, para la clase etaria que está entre los 16 hasta los 29 años, se observa un apoyo que está en un rango entre el 10% y 30%. Este apoyo parece crecer a medida que la clase etaria crece. El mapa no presenta regionalismo en el apoyo de las clases etarias hacia este partido político ya que la intensidad en los colores se mantiene en forma general (ver Figura 4).

Este trabajo ha empleado métodos Markov Chain Monte Carlo para efectuar la inferencia sobre las proporciones de apoyo desde ciertas clases etarias a partidos políticos determinados en elecciones presidenciales. La inferencia a través de estos algoritmos se basa en conseguir una distribución de probabilidad muestreada *a posteriori* por lo que se hizo necesario el uso de simulaciones que utilizan cálculos computacionalmente caros. A cambio de esto se tienen ventajas: 1) Sus cálculos logran gran eficiencia, por ejemplo, en los intervalos de confianza que pueden ser más finos [11]. 2) Las probabilidades para las proporciones de apoyo *a posteriori* pudieron ser

calculadas, esto es algo que no todos los paquetes calculan.

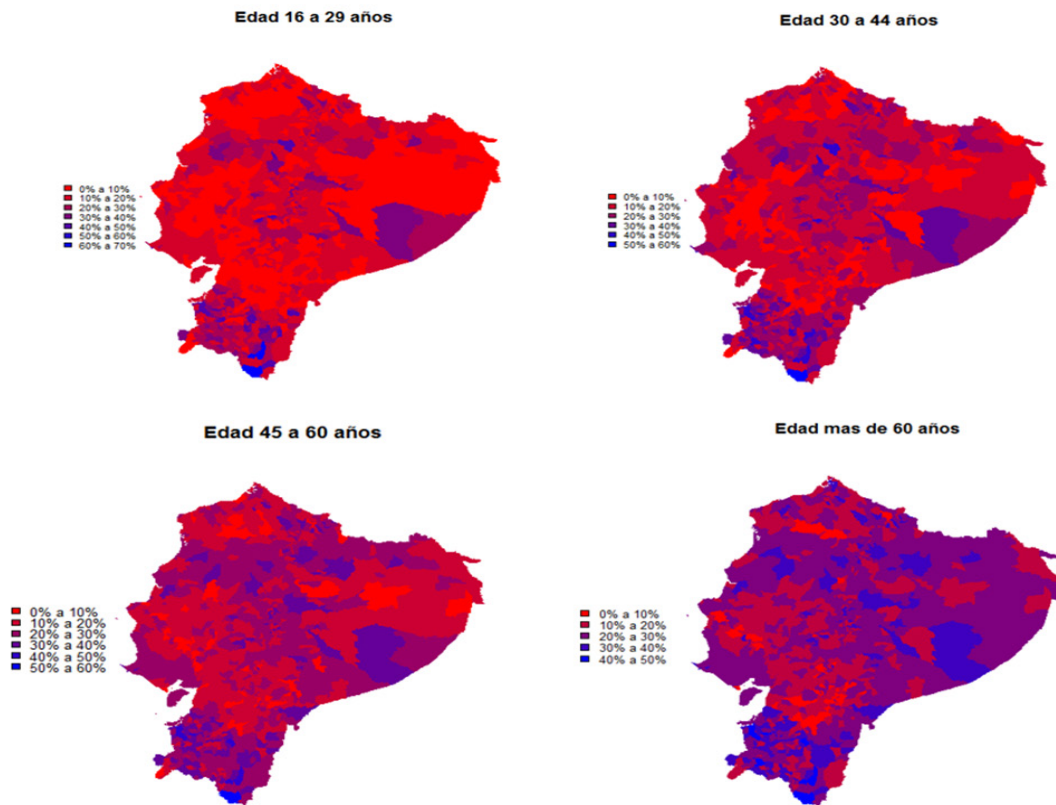
Comparando la metodología utilizada en este trabajo con [22] se concluye que, en general, el uso de metodologías bayesianas con modelos que muchas veces son jerárquicos es más eficiente que el uso de otros métodos que también pueden usar simulaciones. Se debe tomar en cuenta el cumplimiento de las suposiciones para el buen desarrollo del modelo, aunque en la práctica difícilmente se cumple con alguna de estas, por ejemplo, el supuesto de distribución del modelo.

El análisis realizado en este trabajo podría ser mejorado si se utilizan covariables en la información obtenida para los recintos electorales. Es muy conocida la utilidad que poseen las covariables en un modelo al permitir que los parámetros de interés varíen en función de ellas. Esto implica también que las distribuciones sean más flexibles, es decir, será posible trabajar con densidades más complejas. Por ejemplo, al condicionar al modelo sobre los , es posible modelar la relación que existe entre estos datos y los parámetros en lugar de asumir que ambos son independientes *a priori* como en [12].

Las desviaciones estándar para las medias en la tabla 3 tienden a ser más bajas que en los resultados del modelo MCMC Multinomial-Dirichlet, [11] esto puede deberse a que en este trabajo se utilizó el método HMC que proporciona RStan en comparación con el muestreador de Gibbs

Figura 4.

Apoyo por clases etarias hacia el partido político CREO en las elecciones 2013



utilizado en ese artículo y la cantidad de recintos que se utilizaron en este trabajo.

Stan utilizó 2000 iteraciones que fueron configuradas en principio y que fueron suficientes para llegar a la convergencia del método, en el caso de [12] se usaron 3.000.000 iteraciones mediante el paquete WinBUGS que también construye distribuciones *a posteriori*. Los *trace-plots* que se mostraron en este trabajo demostraron que las cadenas efectivamente convergen mientras que en [12] no ocurre esto.

5. CONCLUSIONES

Varios enfoques se han desarrollado para la solución del problema de la inferencia ecológica; en este trabajo se ha tomado un enfoque bayesiano mediante el modelo Multinomial-Dirichlet y el método Hamiltonian Monte Carlo para la simulación. A diferencia de los métodos estadísticos frecuentistas, los métodos bayesianos se basan en la formulación de un conjunto de distribuciones previas para los parámetros desconocidos que se basan en creencias *a priori* del investigador. Tales distribuciones previas son parte del modelo estadístico, así como la parte que expresa la distribución de probabilidad de las observaciones dadas a través del cálculo de su verosimilitud.

RStan presenta una alta efectividad al trabajar con modelos jerárquicos bayesianos. Por medio de su método HMC, los parámetros de interés fueron estimados y las cadenas llegaron a la convergencia de forma efectiva. Para mejorar la exactitud de las inferencias, es recomendable la formulación del modelo incluyendo covariables que permitan una flexibilización del modelo con respecto a las suposiciones del mismo.

REFERENCIAS

- [1] «Consejo Nacional Electoral Ecuador». <http://cne.gob.ec/es/> (accessed aug. 11, 2021).
- [2] D. Duncan and B. Davis, «An alternative to ecological correlation», *Am. Sociol. Rev.*, vol. 18, n.º 6, dec. 1953, p. 665.
- [3] L. A. Goodman, «Ecological regressions and behavior of individuals», *Am. Sociol. Rev.*, vol. 18, n.º 6, dec. 1953, p. 663.
- [4] G. King, *A solution to the ecological inference problem*, 1st ed., Princeton: Princeton University Press, 1997.
- [5] S. R. Flaxman, Y. X. Wang and A. J. Smola, «Who supported Obama in 2012? Ecological inference through distribution regression», in *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery*

- and *Data Mining*, 2015, pp. 289-298.
- [6] J. Pavia and R. Romero, «Improving estimates accuracy of voter transitions. Two new algorithms for ecological inference based on linear programming», *Advance*, 2021, pp. 124, jun. [Online]. Available: /articles/preprint/Improving_estimates_accuracy_of_voter_transitions_Two_new_algorithms_for_ecological_inference_based_on_linear_programming/14716638/1.
- [7] P. Sandoval and S. Ojeda, «Estimation of electoral volatility parameters employing ecological inference methods». https://www.researchgate.net/publication/338951636_Estimation_of_Electoral_Volatility_parameters_employing_Ecological_inference_methods/references (accessed aug. 11, 2021).
- [8] S. Flaxman, D. Sutherland, Y.-X. Wang and Y. W. Teh, «Understanding the 2016 us presidential election using ecological inference and distribution regression with census microdata», 2016.
- [9] G. King, O. Rosen, M. Tanner and A. Wagner, «Ordinary economic voting behavior in the extraordinary election of Adolf Hitler», *J. Econ. Hist.*, vol. 68, n.º 4, 2008.
- [10] E. Castela, «Inferencia ecológica para la caracterización de abstencionistas: el caso de Portugal», *Discussion Papers - Spatial and Organizational Dynamics*, n.º 3.
- [11] O. Rosen, W. Jiang, G. King and M. Tanner, «Bayesian & Frequentist inference for ecological inference: the RxC case», *Stat. Neerl.*, vol. 55, 2001.
- [12] G. King, O. Rosen and M. Tanner, «Binomial beta models for ecological inference», *Sociol. Methods Res.*, vol. 28, 1999.
- [13] «Instituto Nacional de Estadística y Censos». <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/> (accessed aug. 11, 2021).
- [14] C. Plescia and L. De Sio, «An evaluation of the performance and suitability of $R \times C$ methods for ecological inference with known true values», *Qual. Quant.*, vol. 52, n.º 2, mar. 2018, pp. 669-683. DOI: 10.1007/s11135-017-0481-z.
- [15] G. King, O. Rosen and M. A. Tanner, «Ecological inference: new methodological strategies», *Ecol. Inference New Methodol. Strateg.*, jan. 2004, pp. 1-431. DOI: 10.1017/CBO9780511510595.
- [16] P. Lee, *Bayesian statistics: an introduction*, Wiley, 2012.
- [17] A. Gelman, B. Carlin, H. Stern, and B. Rubin, *Bayesian data analysis*, third edition (Statistical Science), 2014.
- [18] K. Imai and Y. Lu, «Bayesian and Likelihood inference for 2×2 ecological tables: an incomplete-data approach», *Polit. Anal.*, vol. 16, 2007, pp. 41-69, DOI: 10.1093/pan/mpm017.
- [19] J. Kruschke, *Doing bayesian data analysis: a tutorial with R, JAGS, and Stan*, second edition, Elsevier Science, 2014.
- [20] M. A. Tanner, *Tools for statistical inference: methods for the exploration of posterior distributions and likelihood functions*, Springer, 1996.
- [21] «Stan Reference Manual». https://mc-stan.org/docs/2_21/reference-manual/index.html (accessed dec. 10, 2019).
- [22] A. Klima, T. Schlesinger, P. W. Thurner and H. Küchenhoff, «Combining aggregate data and exit polls for the estimation of voter transitions», *Sociol. Methods Res.*, vol. 48, n.º 2, may 2017, pp. 296-325.



Revisión de la Economía Circular como Modelo Económico del Sector textil en Ecuador

Review of the Circular Economy as an Economic Model of the Textile Sector in Ecuador

Dely Natalia Bravo Donoso | [iD](#) Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador

Gladys Anabel Caiza Changoluisa | [iD](#) Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España

ARTICLE HISTORY

Received: 5/8/2022
Accepted: 27/8/2022

KEY WORDS

Circular economy, sustainable development, textile industry, initiative.

ABSTRACT

Ecuador is a country that in its great majority is marked by a linear economic model. Few are the sectors that have bet on the economy circulates where there is no waste. The industrial sector of Ecuador has openly ventured into this circular economic model as a means to sustainable development within this large sector highlights the industrial sector that has had very important initiatives in terms of circular economy projects where the objectives have been focused on the use of recycled materials to a new product, care for the environment with the use of alternative energies and GHG emissions present throughout the production process and finally the reduction of natural resources; giving added value to this type of products.

PALABRAS CLAVE

Economía circular, desarrollo sustentable, industria textil, iniciativa.

RESUMEN

Ecuador es un país cuya gran mayoría de sectores está marcada por un modelo económico lineal. Pocos son los que han apostado por la economía circular donde no existen desechos. El sector industrial del Ecuador ha incursionado abiertamente en este modelo económico circular como un medio para el desarrollo sustentable, dentro de este gran sector se destaca el industrial que ha tenido iniciativas muy importantes en cuanto a proyectos de economía circular, donde los objetivos se han centrado en el empleo de materiales reciclados para generar un nuevo producto, cuidado del ambiente con el uso de energías alternativas y reducción de la emisión de GEI presente en todo el proceso productivo, y finalmente la reducción en el uso de recursos naturales; dándoles un valor agregado a este tipo de productos.

I. INTRODUCCIÓN

El mundo se enfrenta a un grave daño ambiental, un escenario en el que nadie querrá vivir, en donde los recursos son finitos y escasos, generando significativos impactos que afectan la seguridad de la sociedad y el equilibrio del medio ambiente. Un mundo en el que la industria evoluciona día a día y el crecimiento poblacional se vuel-

ve una amenaza, entonces surge la necesidad de crear un modelo económico diferente y regenerativo. Desechar el clásico sistema lineal, en donde, la extracción, proceso, distribución, uso y residuo sigan un ciclo continuo.

Según el análisis realizado por el Foro Mundial de Economía Circular, se tiene que la economía circular

propone un cambio sistémico radical que apunta al eco-diseño, la simbiosis industrial, la economía de la funcionalidad, reúso, reparación, remanufactura y valorización. Este enfoque promueve la innovación y la resiliencia a largo plazo y permite el desarrollo de nuevos modelos de negocios y el desarrollo de productos sustentables [1].

Gracias a ello, las diferentes industrias alrededor del mundo se han involucrado en este gran acontecimiento, una de ellas, y quizás la más significativa en el Ecuador, es la industria textil, siendo el tema de los flujos de materiales donde se requiere actuar de forma prioritaria, debido a que su industria es muy contaminante y consumidora de recursos.

Esta investigación procura analizar la economía circular como un factor importante dentro de la industria textil del Ecuador y el aporte que esta brinda a la población, proporcionando productos sustentables de calidad y concientización social.

Evaluará cómo la industria textil puede adoptar un enfoque de desarrollo sustentable como un mecanismo para consolidar el cambio de la matriz productiva, y al que se suma la implementación de tecnologías limpias, con el propósito de optimizar el uso de recursos naturales, considerando que, en el caso de la industria textil, la utilización del agua es primordial.

La implementación de una economía más circular es el camino al futuro sostenible, es hora de empezar a notar los múltiples beneficios de la innovación dentro de esta filosofía.

1.1. SOPORTE CONTEXTUAL

1.1.1. Economía circular en el contexto global

Alrededor del mundo la economía circular se encuentra en el centro de las discusiones y nuevas estrategias de los gobiernos de todo el planeta. Según el Banco Mundial, América Latina genera 160 millones de toneladas de residuos sólidos al año con un promedio per cápita de 1,1 kg/día del cual menos del 3% se reutiliza o recicla [2].

El portal del Foro Mundial de Economía Circular, realizado en junio del año 2017, menciona que se han venido desarrollando acciones concretas que muestran la centralidad del tema como:

- El gobierno finlandés lanzó, en el 2016, su estrategia hacia la economía circular llamada «Leading the cycle» - Finish road map to a circular economy 2016-2025.
- Por otro lado, el Foro de Economía Circular, realizado el año pasado en Uruguay, menciona que la Comisión Europea adoptó un Paquete de Economía Circular, en diciembre de 2015, buscando promover la transición hacia una economía circular en la Unión Europea. Este

paquete incluye propuestas legislativas respecto a residuos y aumento de tasas de reciclaje y reúso, así como un plan de acción para promover la economía circular en las distintas cadenas de valor.

- Además, el mismo portal, señala que algunas ciudades ya vienen trabajando en la elaboración de sus estrategias hacia la economía circular como el caso de Londres, Vancouver, Helsinki y Rio de Janeiro, entre otros.
- Sin embargo, en junio del presente año se realizó el primer Foro Mundial de Economía circular en Finlandia con la participación de más de 1500 asistentes y la colaboración de más de 100 países, organizado por SITRA, agencia de innovación finlandesa.
- China es uno de los países que más ha contaminado el medio ambiente durante varios años, es por ello que el gobierno chino ha desarrollado varias leyes apegadas a la economía circular, entre ellas hay una nueva ley aprobada de Economía Circular que contiene preceptos y políticas generales que no son nuevos, y que se pueden encontrar en las anteriores leyes medioambientales chinas ya mencionadas [3].

1.1.2. Las industrias americanas incursionan en la economía circular

A. Industria automotriz

Diferentes industrias a escala internacional, hoy en día han adoptado esta filosofía, pretendiendo elaborar nuevos modelos de negocios que beneficien a la sociedad y al medio ambiente.

La industria automotriz, por ejemplo, ha incursionado en el reciclaje de motores viejos para que puedan volver a ser utilizados gracias a una tecnología de recubrimiento de plasma especial patentada por la organización Ford. Esta acción reduce las emisiones de CO₂ aproximadamente en un 50% con respecto a la fabricación de un motor nuevo. Así lo plantea el gerente de la compañía [4].

Por otro lado, Toyota Motor Corporation, es el líder mundial en ventas de vehículos eléctricos híbridos, y es una de las compañías más grandes que fomenta la adopción masiva de vehículos híbridos en todo el mundo [5].

B. Industria de los plásticos

En noviembre del año 2020, la Fundación Ellen MacArthur y el programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) publicaron el informe de «Progresos sobre el Compromiso Global por la Nueva Economía del Plástico», en donde se unieron más de 500 organizaciones para abordar la contaminación plástica desde su origen, y que estaba dirigido principalmente a

empresas, las cuales representan el 20% de todos los envases de plástico producidos a escala mundial, comprometiéndose con objetivos para 2025, esperando llegar a cumplir este objetivo en común [6].

C. Industria textil

Dentro de esta lista de industrias, incursiona la textil, que se halla realizando una transición a la economía circular, debido a que la fabricación de ropa exige recursos naturales en abundancia, por ejemplo, para la producción de un pantalón jean se necesitan 3000 litros de agua [7].

No basta con esto, según la comunicación de responsabilidad y sustentabilidad empresarial, esta industria es la que menos recicla por los químicos usados para la fabricación de sus productos, contaminando exuberantemente. Cada año se venden 80.000 millones de prendas en el mundo. Y la industria textil es la segunda más contaminante del planeta. Es responsable del 20% de los tóxicos que se vierten en el agua [8].

Al igual que la industria de los plásticos, muchas empresas se unieron a la iniciativa impulsada por la Fundación Ellen MacArthur, empezando por la ropa y las fibras usadas en sus productos. H&M y Nike son algunas de las organizaciones pioneras para su desarrollo [9].

La iniciativa de fibras circulares producirá un análisis de la industria textil y su trazabilidad, poniendo en evidencia el ciclo de vida de los textiles, los problemas consecuentes que afectan al equilibrio del medio ambiente y los pasos que seguirán para construir una industria textil regenerativa [10].

1.1.3. Economía circular en la cadena de valor del textil

La economía circular se refiere a la importancia de conservar los productos el mayor tiempo posible y evitar la generación de residuos al momento de terminar su vida útil, es decir, que puedan seguirse utilizando un número determinado de veces para crear más valor [11]. Pasar de una economía lineal a una economía circular requiere la implementación de mejoras en todas las cadenas de valor del mercado, incluyendo la textil, desde el diseño y desarrollo de nuevos productos hasta los modelos de gestión empresarial y de mercado [11].

Las grandes empresas textiles a nivel mundial están apostando por ampliar el ciclo de vida de sus productos, convirtiendo las prendas de vestir ya usadas en prendas nuevas para evadir el desperdicio y reducir los impactos medioambientales que generan estas [12]. Esto implica un cambio sistémico total innovando no solo en tecnología, sino también dentro de la organización, métodos financieros, políticas y la sociedad [11].

En las políticas que amparan la economía circular, el área textil es uno de los flujos materiales donde se necesita actuar de forma inmediata.

En primera instancia su industria es una de las mayores contaminantes y consumidoras de recursos en el mundo, de manera natural la elaboración de prendas de vestir necesita de materias primas tanto naturales como sintéticas, así como un alto consumo de agua, su transporte tiene como principal consecuencia el cambio climático por las emisiones de CO₂ a la atmósfera y el tratamiento posterior que se realice al finalizar la vida útil del producto [11].

Un estudio realizado por la Universidad de Cambridge estimó que por cada kg de tejido textil producido en el mundo se consume 0,6 kg de petróleo y emite 0,2 kg de CO₂ o su equivalente a la atmósfera, de la misma manera el consumo de agua también es un factor importante. Por ejemplo, para confeccionar un pantalón jean se necesita 3000 litros de agua y para una camiseta de algodón 1200 litros [11].

La sociedad actual cada vez es más caprichosa y se consumen productos textiles en altas cantidades, primordialmente ropa, con un ciclo de vida cada día mucho más corto [11].

Empresas como H&M, Zara, Timberland y Unilever se suman a la iniciativa de hacer una transición del modelo económico lineal que se basa en: extracción-producción-consumo-eliminación a un modelo económico circular, [12] incorporando el ecodiseño donde los productos son ya diseñados pensando en facilitar su uso después del uso como estrategia empresarial [13].

H&M implementó una iniciativa en el 2013 donde sus clientes tienen la opción de llevar sus prendas de ropa usada de cualquier marca, para que esta sea recogida y reciclada, con esta campaña lograron recoger más de 14.000 toneladas de ropa, este fue un paso importante para conseguir un ciclo cerrado para los productos textiles, minimizando la generación de residuos y la necesidad de explotar más materias primas con lo que se reducen los impactos de la producción sobre el planeta [12].

Otras empresas que tomaron iniciativas circulares, son las del grupo Inditex, que implementó un programa en el 2018 «The list», en donde regula las sustancias químicas a utilizar en la producción de textiles, asegurando la seguridad y salud de las prendas, siendo un líder de cambio para los paradigmas, buscando así que sus prendas provengan de fuentes sostenibles en el 2023 y que para el 2025 procedan de fuentes orgánicas [14]. De la misma manera, Timberland es otro referente, desde el año 2008 fabrican suelas de zapatos con polvo de neumáticos viejos y reutilizan botellas de plástico, el objetivo de Timberland es que al año 2020 el 100% de sus productos incluyan al menos un material reciclado, orgánico o renovable [12].

Si se reducen la cantidad de residuos generados por la industria textil, esto ayudará en la prolongación del ciclo de vida de la ropa, por ejemplo, un diseño que permita la reparación o la separación de sus componentes, como es el caso del calzado facilitaría una preparación óptima para la reutilización, punto clave para poder cerrar el ciclo [11].

Tabla 1.*Exportaciones por toneladas y facturación anual (2008-2018)*

Año	Ton.	FOB M\$
2008	31.870,43	144.984,46
2009	28.852,97	179.260,70
2010	33.613,98	229.292,71
2011	35.899,14	194.896,08
2012	39.202,60	154.649,10
2013	39.059,67	156.592,28
2014	37.376,57	148.024,50
2015	33.379,66	118.102,85
2016	32.588,83	110.382,00
2017	26.928,99	94.723,37
2018	25.809,08	98.638,413

Para fomentar la economía circular en el área textil será necesario adoptar las mejores prácticas que se están implementando en países de Europa, España es uno de ellos el cual toma diferentes iniciativas para promover la economía circular en este sector tan importante para el desarrollo económico de un país.

Prácticas tales como fomentar la eco-confección de las prendas a partir de hilo reciclado, a través de medidas como reconocimientos económicos y premios a la innovación y el ecodiseño, [11] ISKO un fabricante textil de Turquía es el único a nivel mundial que posee la etiqueta de la Unión Europea que le califica como ecológico, esta ha creado una tela que, debido a que conserva su forma resulta más duradera y durante su ciclo de vida específicamente en su fabricación ahorra un 23% de consumo de agua, por otro lado en sus plantas poseen instalaciones de filtración para tratar el agua y reutilizarla, [15] mejorar las estadísticas de recogida, reutilización, reciclado, etc., [11] optimizar la recuperación de material, es decir, fomentar la moda sostenible y los mercados de segunda mano, crear un modelo de responsabilidad de los productores semejante a Eco-TLC que se fomentó en Francia, la cual para el período 2014-2019 estableció unos objetivos ambiciosos en la recolección de residuos textiles, en el año 2017 alcanzó a recoger 195.000 toneladas de residuos, de ellos 64% fue destinado a la reutilización y el 35% al reciclaje y a la valorización energética, se espera que para el año 2019 se dupliquen los tonelajes de recolección, [16] fomentar el cambio de comportamiento de los ciudadanos en materia de consumismo, las personas deben entender que los residuos textiles bien gestionados pueden tener más vida útil reutilizando y minimizando los impactos que estos producen al medio ambiente [11].

1.1.4. Industria textil en el Ecuador

En los últimos años, la industria textil en el Ecuador ha estado afectada por las altas fluctuaciones de la economía local, cifras oficiales de la Asociación de Industrias Textiles del Ecuador (ver Tabla. 1), muestra que en el año 2008 el país exportó 31.870,427 toneladas de productos textiles al exterior, [17] en comparación con el año 2009 evidencia un descenso total de casi el 11% en las toneladas de exportación con respecto al año anterior. El año que tuvo un auge en las exportaciones fue en el 2012 donde se llegaron a exportar 39.2002,60 toneladas de productos textiles significando un aumento sustancial de casi el 27% en comparación con el año 2009 en el que se evidenció un declive total de estas.

Las exportaciones del año 2018 muestran un descenso en comparación con las del año 2012, la crisis en Venezuela significó un golpe muy duro a las exportaciones (ver Figura 1), llegándose a exportar 25.809,08 toneladas, lo que significó un descenso de casi el 35% en las exportaciones [18].

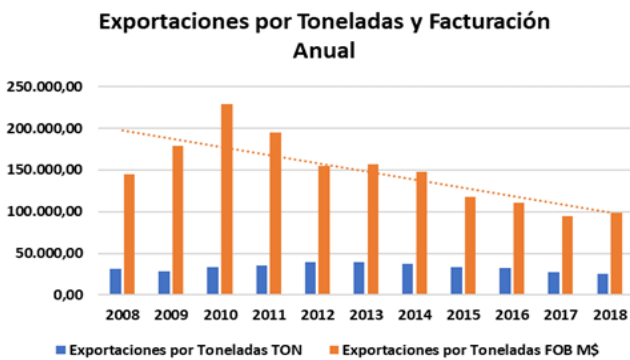
A mayo del 2019 se puede evidenciar un aumento gradual en las exportaciones y la manufacturación, lo cual se puede evidenciar en la tabla 2, donde se muestra que el área a donde más se exporta productos textiles es la Comunidad Andina (CAN) con un tonelaje de exportación de 10.495,280 ton en 5 meses significando un 40% (ver Figura 2), si siguen a ese ritmo las cifras, se estima que para el término del año se supere ligeramente el valor de exportación del 2018 (10.483,205 ton) [18].(ver Tabla 2)

1.1.5. Iniciativas de desarrollo sustentable en el sector industrial-textil del Ecuador

En los últimos años, gracias a la política industrial del Ecuador realizada por el MIPRO, se ha buscado incre-

Tabla 2.*Exportaciones a mayo del 2019 por bloques económicos y tipo de producto*

Bloques de países de destino	Ton.	FOB M\$
comunidad andina	10.495,280	39.698,288
resto asia	5.263,299	12.152,547
unión europea	3.481,668	9.983,374
Mercosur	3.561,757	15.050,063
Chile	586,399	3.131,141
otros	682,173	1.871,123
resto nafta	556,016	3.349,292
Estados Unidos	562,959	9.128,819
China	64,653	182,557
Panamá	121,975	1.050,642
cafta-dar	432,908	3.040,566
Total general	25.809,086	98.638,413

Figura 1.*Datos de exportaciones y facturación (2008-2016)*

Fuente. La figura 1 muestra cómo ha sido la evolución de la industria textil ecuatoriana a lo largo de los últimos 10 años.

mentar mayor valor agregado, empleo de mejores tecnologías, a la par de la mano de obra capacitada y buenas prácticas con el medio ambiente; a las actividades productivas del país. Este proceso ha sido lento, en tal motivo, el sector manufacturero no ha sido el motor para el crecimiento de la economía del país. En este sentido, el sector de alimentos y bebidas es el mayor representante con un promedio del 55,9% del PIB industrial no petrolero en el año 2007, siguiendo el sector textil y confecciones con el 14,3% y así se ubican los otros sectores [19].

Para incursionar en el tema de las iniciativas, es importante entender que son cualidades que poseen algunas personas, asociaciones, empresas, escuelas y diferentes colectivos de poder por si mismos iniciar alguna cuestión, bien sea comenzar un proyecto o buscar soluciones a alguna problemática [20].

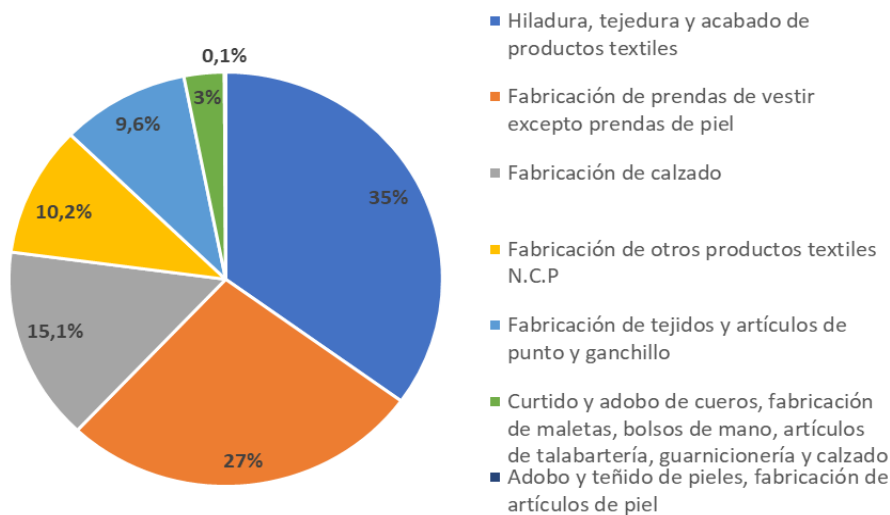
Figura 2.*Exportaciones por bloques a mayo del 2019*

Fuente. [34].

Muchas iniciativas han sido puestas en práctica por diferentes empresas ecuatorianas del sector textil. Estas iniciativas se encaminan a prácticas amigables con el medio ambiente, a una economía circular, o a innovación como un medio para subsistir. Según K. García, en su artículo «La innovación como estrategia de la industria textil transformando para subsistir: una alternativa para el Ecuador», una importante corriente a nivel empresarial es la denominada responsabilidad social empresarial, como resultado de una interrelación entre las necesidades de la sociedad y empresas enfocadas en el desarrollo sustentable; [21] entendiéndose al desarrollo sustentable, según A. Sánchez, como un medio para satisfacer las necesidades del presente, sin menoscabo de la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades; [22] evidenciándose en la industria textil a través

Figura 3.

Sectores de mayor aporte a la industria textil durante el año 2007



Fuente. [26].

del uso de materiales reciclables, el uso de envases PET para la generación de fibras, de diseños, entre otras innovaciones de esta industria. Siendo la más importante la innovación en fibras sintéticas provenientes del reciclaje en la industria textil [21].

La industria textil del país posee desventajas en cuanto a competitividad con los países vecinos, según la Asociación de Industriales Textiles del Ecuador (AITE), esas desventajas radican en el ingreso ilegal de productos desde países limítrofes. Como un medio para combatir esta problemática se ha empleado la diferenciación de productos, productos más verdes; enfocándose en el diseño y confección de modas y accesorios a partir de materiales reciclables. Por ejemplo, la Armada del Ecuador fomenta la elaboración de cojines, cubrecamas, entre otros productos por la población aledaña al recinto militar, con el uso de los retazos de tela.

Una iniciativa bien marcada en cuanto a la economía circular que tuvo el sector industrial fue la empresa Enkador S. A, constituida con capital europeo y ecuatoriano, más tarde participó el capital colombiano; en 1996 se transformó en la primera empresa textil certificada y que apostaba al cuidado ambiental; transformando botellas plásticas recicladas en hilos ecológicos y, a su vez, tejido de telas de jean, entre otros tejidos [21].

De las iniciativas para el sector industrial nace el Centro Ecuatoriano de Eficiencia de Recursos y Producción más limpia (CEER) con el fin de promover un uso eficiente de recursos y producción más limpia tanto a nivel industrial y comercial como de servicios del país, fomentando la competitividad de las empresas y su desarrollo sustentable. Influidando directamente en el sector textil, encaminándolo al empleo de materiales provenientes de reciclaje o de fuentes naturales [23].

En el sector textil también se han acogido prácticas de compromiso ambiental que consisten en soluciones para disminuir la contaminación y uso desmedido de recursos

naturales, a partir de ese criterio es que la tecnología textil ha ido buscando nuevas tendencias, tales como la tintura en el tejido, de tal manera que se realicen a base de procesos waterless (sin agua) o con técnicas que reduzcan notablemente el consumo de la misma. Según el portal de noticias online Vicunha Textil (Ecuador), desde el año 2011 cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, motivo de gran satisfacción ya que esto ha permitido preservar los recursos hídricos e incentivar a cuidar uno de los recursos más importantes como lo es el agua [24].

De las grandes empresas textiles del Ecuador, pocas incursionan en el desarrollo sustentable; entre estas están Vicunha Ecuador S. A., las demás no, así se tiene a: Lamitex, Smjrfitkappa Ecuador S.A, Fibran Cía. Ltda., Insomet Cía. Ltda., Empresas Pinto S. A., Textiles El Rayo S. A., S. J. Jersey Ecuatoriano C.A., Tejidos Píntex S. A. y Royaltex S. A. [25].

Según datos de la Encuesta de Manufactura y Minería (año 2007), en el ámbito de estas empresas textiles ecuatorianas, existen diferentes sectores, los mismos se pueden observar en la figura 3. El sector de mayor aporte es el de hilatura, tejeduría y acabado de productos textiles, concentrando el 35% de la producción total de la industria dedicada a la fabricación de productos textiles, prendas de vestir y artículos de cuero que es el 3,5% de la producción manufacturera total [26]. (ver Figura 3)

Para complementar el estudio de la economía circular en el ámbito de la industria ecuatoriana, se tiene que, dentro del sector industrial del país, se han evidenciado importantes iniciativas las cuales se alinean al desarrollo sustentable. Así se tiene, el Proyecto Manejo Integrado y Ambientalmente Sostenible de Bifenilos Policlorados en Ecuador, se sabe que el BPC es una de las sustancias químicas orgánicas más estables y tóxicas, donde se busca fomentar la gestión racional de los aceites, equipos, sitios y desechos contaminados con BPC, acorde con los Convenios de Basilea y Estocolmo. Se pretende capacitar sobre su correcta gestión y eliminación [27].

Por otro lado, Holcim Ecuador también desarrolló un Plan de Desarrollo sostenible 2030 el cual se asienta en cuatro áreas: clima (energías reutilizables), economía circular (gestión de residuos) y finalmente agua, medio natural, personas y comunidades (gestión responsable de recursos en toda la cadena de valor) [28].

1.1.6. Moda sostenible en Ecuador

Según Debbie Moorhouse & Danielle Moorhouse (2017) el futuro para incursionar en una moda sostenible en las industrias a nivel mundial es poco predecible y al mismo tiempo apasionante. Algunas marcas están haciendo grandes progresos para cerrar el ciclo y cosechar beneficios de ello, [29] pero en otros sectores de la industria textil como menciona Fletcher (2014) existe «gran timidez y algo de renuencia» a ver un futuro con un modelo comercial sostenible moderno que está inmerso en la etapa de diseño, sin jóvenes talentos de diseño e imaginación se corre el riesgo de no poder pasar de la producción tradicional a una producción sosteniblemente rentable [30].

En la actualidad, las celebridades respaldan y han sido una gran influencia para incursionar en el diseño sostenible en la industria de la moda textil, un gran número de ellas no solo usa su nombre para promocionar una marca, sino que incursionan como diseñadores y empresarios, la actriz Emma Watson es una de los principales activista-ética de la moda y a menudo usa moda sostenible en eventos de alto perfil de la alfombra roja [29].

Vuelve a estar a la vanguardia la moda sostenible, tanto a nivel internacional como nacional. Países como España han emprendido con proyectos englobados en la economía circular, por ejemplo, Smart Fashion - Slow Fashion, es una propuesta The Circular Project, socio fundador de la Asociación de Moda Sostenible de Madrid en colaboración con la Asociación de Diseñadores de Moda de España y la plataforma internacional Slow Fashion World, que proyectan trabajos enfocados en los fundamentos de la moda sostenible y el ecodiseño, con el apoyo de diseñadores nacionales e internacionales, quienes de alguna manera procuran disminuir el gran impacto que ocasiona la industria textil. Es por ello que se realizan exposiciones de estos trabajos, los cuales responden a los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, para llevar a cabo, modas nacionales como Ecoalf, Parallel Dimensions, etc.; y modas internacionales como Baraa, Qaytu, etc.; pretenden una moda inteligente e innovadora que minimice u optimice el consumo de recursos y la contaminación del ambiente, sin dejar de lado la mejora de las condiciones de trabajo de toda la cadena de producción [31].

Ecuador por su parte también ha promovido trabajos direccionados a la moda sostenible, tal es el caso de The Andes Fashion, que es una marca que nace en el 2011, esta marca se basa en algunos trabajos realizados por empresas de Miami, USA. The Andes Fashion es una colección de

bolsos con telas típicas locales, realizados por costureras de diferentes comunidades en la región andina del Ecuador.

Este trabajo nace con la ideología de desarrollar productos que no quebranten las costumbres, cultura y los recursos propios del país. Además, otra razón para empezar con este trabajo se debe a que se ha visto empresas extranjeras que llegan al país, y aprovechan los recursos y tienen éxito, entonces por qué no emprender y hacer algo muy «nuestro», debido a que se conoce el medio, el idioma, las costumbres, el país, y la región.

Muchos son los talleres localizados en diferentes partes del país, unos en la Costa, otros en la Sierra y los wao-rani en la selva. Cada uno especializado en un producto o material específico; por ejemplo, asociaciones de tejedoras de paja toquilla y algunos otros pequeños talleres donde se elaboran los sombreros. También hay otros artesanos especializados en tagua, producción de cuero de vaca, ecoresinas y maderas, los joyeros en plata fina 950 y los tejedores de textiles [32].

2. MÉTODO

El presente trabajo emplea una metodología de análisis de contenido cualitativo, el mismo que permitirá la interpretación de los datos o registros que se encuentran en documentos, mediante la descomposición y clasificación a través de una lectura sistemática para recoger información [33]. Esta metodología se empleó con el fin de identificar cómo la economía circular puede vincularse a la industria textil del Ecuador constituyéndose así en un factor importante en el desarrollo y crecimiento de dicho sector industrial del país.

Entre los elementos a investigar se resaltan: guía del diseño circular, modelo económico lineal, modelo económico circular, desarrollo sustentable, industria textil en el Ecuador, temas que están inmersos en la aplicación del modelo circular en el sector textil del Ecuador.

El proceso empleado en este artículo partió de la investigación de los diferentes elementos mencionados anteriormente en distintas bases y repositorios de libre acceso, así mismo en entidades tanto nacionales como internacionales en inglés y español. Después de este paso, se pudo obtener una base en donde se detallan los resultados, permitiendo así, tener una idea más clara de la industria textil en los últimos años y su relación con la economía circular.

En los últimos años, la industria textil en el Ecuador ha estado afectada por las altas fluctuaciones de la economía local. Cifras oficiales de la Asociación de Industriales Textiles del Ecuador, muestran que en el año 2008 el país exportó 31.870,427 toneladas de productos textiles al exterior, [17] mientras que en el año 2017 se exportaron cerca de 6479,00 toneladas suponiendo un declive de casi el 80% del total de exportaciones del 2008, siendo

la Comunidad Andina (CAN) donde se exporta la mayor cantidad de productos textiles con cerca de 2654,33 toneladas en el año [34].

La facturación pasó a valores mínimos en comparación con años anteriores. En 2008 se logró facturar 144,9 millones de dólares, [17] mientras que en el año 2016 su facturación implicó una caída impresionante, facturándose cerca de 8,0 millones de dólares, [34] evidenciando un decrecimiento de casi el 95% del monto facturado en el año 2008.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Debido a un entorno dinámico presente en otros países, además de mercados comerciales cada vez más grandes, se hace necesario ampliar la brecha tecnológica de información y conocimiento; es por ello importante el fomento de nuevas estrategias para afrontar retos como: competitividad, la demanda de nuevos productos, el posicionamiento en mercados internos y externos, inversión extranjera, son cruciales a fin de conseguir un modelo de desarrollo productivo que sea sostenible, que afronte la necesidad de los clientes con calidad y, por ende, incremente su competitividad para conseguir nuevas oportunidades dentro de la innovación, con diferentes marcas a nivel mundial como resultado de una economía más circular. El impacto positivo agrega un valor de identidad como marca, infundiendo confianza a los consumidores, quienes son las personas que adquieren marcas, productos y servicios que abordan problemas globales y hacen la diferencia.

Así es como nacen las iniciativas dentro de distintos campos de la industria, para conseguir un beneficio mutuo, tanto para la sociedad como para el equilibrio del medio ambiente, generando productos de calidad y concientizados para el consumo humano cubriendo necesidades básicas y específicas de la población mundial.

En Ecuador, la segunda industria que genera más empleo es la textil, así como también, es la que ocasiona más contaminación por sus características de fabricación y uso. Entonces es inevitable pensar en utilizar nuevas formas, iniciativas o estrategias de economía circular, que conjuntamente con un arduo trabajo en las distintas organizaciones puedan ser implementadas.

En párrafos anteriores se ha hablado de la economía circular como factor del desarrollo sustentable en la industria, específicamente textil del Ecuador, causando gran revuelo gracias a las diferentes técnicas usadas en las empresas, fomentando una alta competitividad para subsistir en el mercado. La tecnología textil, por ejemplo, se ha ido direccionando de tal forma que las nuevas tendencias de tinte en el tejido manejen procesos *waterless*, es decir, sin agua o con técnicas que reduzcan notablemente el consumo de esta.

Además de tecnología textil, también se han creado emprendimientos de moda sostenible; marcas creadas con identidad ecuatoriana son muy apreciadas en el mercado extranjero. Así se puede citar a The Andes Fashion, que ha contribuido con diferentes regiones del Ecuador, de esta manera se ha apoyado a la comunidad amazónica «Waorani» del Ecuador con fondos del Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas para la preservación de técnicas ancestrales con diseño moderno, productos que fueron exitosamente exportados y vendidos en Japón en el año 2014 [31].

Se torna necesario conocer las debilidades de la industria textil y sus afectaciones al medio ambiente, de esta manera se podrá dar solución a estos problemas mediante el uso de la economía circular.

Por lo tanto, según la analista de Vicunha, G. Estrada, esta industria debe poner mayor énfasis en puntos clave como [35]:

- Ahorro de agua
- Autogeneración de energía
- Reducción de las emisiones de CO₂
- Selección de químicos biopreparados
- Tratamiento de efluentes
- Uso de nuevas tecnologías (equipos de ozono y láser)
- Obtención de filamentos reciclados u orgánicos
- Manejo de residuos sólidos
- Aplicación de un sistema integrado de calidad

No cabe duda de que el futuro de cada industria son nuevas iniciativas que apoyen a la reducción del impacto ambiental, aplicando innovación en sus productos y en la forma de producirlos sin afectar a generaciones futuras a través de la economía circular.

4. CONCLUSIONES

- La economía circular no es una «moda», es un modelo de actuación que ha sido resultado del concepto de sostenibilidad y su aplicación en la sociedad, la economía y el cuidado necesario del ambiente. Por este motivo la economía circular se ha convertido en una opción para lograr un cambio integral en función de un problema global y conocido como es el agotamiento de los recursos naturales. Es decir, esta no va en contra del crecimiento económico, sino que plantea cerrar los ciclos de materiales y energía para hacer un uso intensivo de los recursos que se tiene a disposición.
- La sustentabilidad no es una cuestión teórica, ni tampoco netamente práctica es una suma de variables que hacen del desarrollo una realidad que necesita de actores inmediatos.
- Ecuador cuenta con la capacidad necesaria para distinguirse en la región como un país que piense y aplique

la sostenibilidad ambiental, ya que el deber de todos es poder contribuir a este nuevo horizonte enmarcado en una economía circular.

- La innovación es una estrategia posible de realizar en todas sus formas dentro de la industria textil, en el caso de Ecuador debe fomentarse a nivel privado y gubernamental políticas que sitúen al país como competitivo en este mercado, pero no solo como exportador de fibras o de confecciones hechas a base de fibras naturales, sino también de fibras sintéticas y sobre todo nanofibras, es decir, enfocándose en lo que busca el cambio de la matriz productiva.
- Las fibras sintéticas en el Ecuador son las que causan menor impacto al ambiente y mayores beneficios socio económicos, estas fibras son el poliéster, seguida de las fibras naturales como algodón y lana, cabe recalcar que esta clase de fibras es una iniciativa reciente en el país y en las industrias ecuatorianas, esta no debe parar ni estancarse en dicha producción. A la par se debe efectuar el desarrollo de una industria textil que se enfoque en el diseño y confección de prendas únicas y que compitan en mercados internacionales por su calidad y conjuntamente con la generación de recursos económicos.
- Nuevos emprendimientos de la industria textil están encaminados a la moda sostenible, donde se intenta fomentar en el público un compromiso global, con el fin de parar el daño ambiental y social del planeta, mediante trabajo con mano de obra propia y enmarcando la diversidad cultural del país.
- Finalmente, el cambio hacia una nueva perspectiva es responsabilidad de todos, como sociedad, impartir cambios, el poder reciclar, reutilizar y empezar a pensar circular.

REFERENCIAS

- [1] FEC. (Junio de 2017). «Foro Mundial de Economía Circular». Obtenido de <https://foroeconomiacircular.com/la-economia-circular/>
- [2] Ostojic, P. (16 de marzo de 2017). «América Latina y la economía circular». Obtenido de Circulate: <https://circulatenews.org/2017/03/america-latina-y-la-economia-circular/>.
- [3] Roca Junyent. (15 de octubre de 2008). «Nueva Ley de Economía Circular». Shanghai 2000041.
- [4] Minería Urbana. (22 de diciembre de 2015). «Economía circular y minería urbana». Obtenido de <https://mineriaurbana.org/2015/12/22/ford-propone-nueva-vida-a-motores-viejos/>
- [5] Toyota. (23 septiembre 2017). «Toyota global». Obtenido de <http://www.toyota-global.com/>
- [6] ONU. (6 nov. 2020). «Informe de progreso sobre el Compromiso Global por la Nueva Economía del Plástico 2020». Eco Circular. (29 diciembre 2017). «Economía circular en la cadena de valor del textil». México.
- [7] Sánchez, C. M. (13 de octubre de 2016). «La industria textil la segunda mas contaminante del planeta», *XLSEMANAL*. <https://www.xlsemanal.com/actualidad/20160913/cataclismo-la-fast-fashion.html>
- [8] RSE. (2017). «Iniciativa para alcanzar una economía circular para las fibras y textiles», México.
- [9] M. L. Ayala. (2017). *Sostenibilidad: fibras y textiles en camino hacia la economía circular*. México.
- [10] A. Rodríguez. (15 de febrero de 2017). «Economía circular en la cadena textil». Obtenido de Fundación para la Economía Circular: http://economiacircular.org/blog_ec/?p=10
- [11] P. López (20 de septiembre de 2016). «Las grandes empresas de la industria textil se suman al ecodiseño y a la economía circular». Obtenido de Eco-Circular: <http://eco-circular.com/2016/09/20/las-grandes-empresas-de-la-industria-textil-se-suman-al-ecodiseño-y-a-la-economia-circular/>
- [12] M. Feijoo Elzo. (11 de mayo de 2017). «Economía circular en los textiles». Obtenido de SLOW FASHION NEXT: <https://www.slowfashionnext.com/blog/2017/05/11/economia-circular-los-textiles/>
- [13] La Vanguardia. (5 de junio de 2020). «La estrategia medio ambiental de Inditex avanza hacia la economía circular». Disponible en <https://www.la-vanguardia.com/natural/20200605/481595815250/la-estrategia-medioambiental-de-inditex-avanza-hacia-la-economia-circular.html>
- [14] K. Dorosko. (26 de septiembre de 2017). «La economía circular llega al mundo textil». Obtenido de ECO-ticias: <http://www.ecoticias.com/sostenibilidad/175010/La-economia-circular-llega-al-mundo-textil>
- [15] ECO TLC. (s. f.). «Escala de eco-contribuciones 2017». Obtenido de ECO TLC: <http://www.ecotlc.fr/actualite-170-bareme-des-eco-contributions-2017.html>
- [16] Asociación de Industriales Textiles del Ecuador. (2008). «Exportaciones por bloques económicos». Obtenido de Asociación de Industriales Textiles del Ecuador. Disponible en <http://www.aite.com.ec/estadisticas/2008/EXPORT%202008%20BLOQUES%20ECON..pdf>
- [17] Asociación de Industriales Textiles del Ecuador. (2019). «Exportaciones por bloque económicos año 2019». Obtenido de Asociación de Industriales textiles del Ecuador. Disponible en <https://www.aite.com.ec/estadisticas/2018/EXPORT%202018%20BLOQUES%20ECON.pdf>
- [18] MIPRO. (2009). «Política industrial del Ecuador 2008-2012». Obtenido de <http://www.uasb.edu.ec/UserFiles/381/File/POLITICA%20INDUSTRIAL%20DEL%20ECUADOR%202008-2012.pdf>
- [19] Concepto Definición. (23 de mayo de 2015). Definición de «Iniciativa». Consultado en <http://>

- conceptodefinicion.de/iniciativa/
- [21] K. García. (2015). «La innovación como estrategia de la industria textil. “Transformando para subsistir”: una alternativa para el Ecuador» Disponible en <http://www.eumed.net/rev/tlatemoani/20/mercado-textil.html>
- [22] A. Sánchez. (enero 2011). «Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable». México: Asociación para el Desarrollo Integral de la Región de Misantla, A.C. Disponible en <https://agua.org.mx/biblioteca/conceptos-basicos-de-gestion-ambiental-y-desarrollo-sustentable/>
- [23] Sistema Nacional de Información. (08 de diciembre de 2016). «La producción limpia sustentable toma impulso en Ecuador». Obtenido de <http://www.industrias.gob.ec/la-produccion-limpia-sustentable-toma-impulso-en-ecuador/>
- [24] G. Heredia. (20 de enero de 2015). «Noticias Vicunha textil. Sostenibilidad para un mejor futuro textil». Obtenido de http://www.vicunha.com.ec/vicunha/index.php?verd=1&con_id=185&apl=26&secc=7&system=14&sessid=
- [25] EKOS. (08 de abril de 2016). «Industrias: impactos económicos y encadenamientos productivos». Disponible en <http://www.ekosnegocios.com/negocios/verArticuloContenido.aspx?idArt=7451>
- [26] INEC. (Junio de 2010). «Diagnóstico del sector textil y de confección». Disponible en <http://www.uasb.edu.ec/UserFiles/381/File/TEXTIL.pdf>
- [27] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2017). «Proyecto manejo integrado y ambientalmente sostenible de bifenilos policlorados en Ecuador». Disponible en http://www.ec.undp.org/content/ecuador/es/home/operations/projects/environment_and_energy/proyecto-manejo-integrado-y-ambientalmente-sostenible-de-bifenil.html
- [28] Holcim Ecuador. (2017). «Plan 2030: desarrollo sostenible». Disponible en <http://holcimecuador.com/menu/desarrollo-sostenible/nuestro-plan-2030>
- [29] Moorhouse, D. & Moorhouse, D. (06 de septiembre de 2017). «Sustainable design: circular economy in fashion and textiles». *The Design Journal*. Disponible en <https://doi.org/10.1080/14606925.2017.1352713>
- [30] K. Fletcher, *Sustainable fashion and textiles: design journeys*, 2.ª ed., Earthscan Routledge, 2014.
- [31] Eco circular. (23 de enero de 2018). «Portal de noticias en economía circular: empresas, casos de éxito, noticias...» Smart fashion = slow fashion madrid: objetivo de desarrollo sostenible. Obtenido de <http://eco-circular.com/2018/01/23/smart-fashion-slow-fashion-madrid-objetivo-de-desarrollo-sostenible/>
- [32] P. Rincón. (12 de junio de 2015). «The Andes fashion: moda sostenible desde Ecuador». Disponible en <http://www.slowmotiv.com/the-andes-fashion-moda-sostenible-desde-ecuador/>
- [33] C. Díaz. (2018). «Investigación cualitativa y análisis de contenido temático. Orientación intelectual de revista Universum». *Revista General de Información y Documentación*, vol. 28, n.º 1, 119-142. Disponible en <http://dx.doi.org/10.5209/RGID.60813>.
- [34] Asociación de Industrias Textiles del Ecuador. (2017). *Exportaciones por bloque económicos año 2017*. Obtenido de Asociación de Industriales Textiles del Ecuador: [http://www.aite.com.ec/estadisticas/2017/EXPORT%202017%20\(a%20marzo\)%20BLOQUES%20ECON.%20TIPO%20PROD..pdf](http://www.aite.com.ec/estadisticas/2017/EXPORT%202017%20(a%20marzo)%20BLOQUES%20ECON.%20TIPO%20PROD..pdf)
- [35] G. Estrada. (2015). *Sostenibilidad para un mejor futuro textil*. Quito.



La Maqueta como Recurso Didáctico para la Enseñanza de Matemática en Arquitectura

The Mock-up as a Didactic Resource for the Teaching of Mathematics in Architecture

Brian Jordano Cagua Gómez | Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Santo Domingo, Ecuador

ARTICLE HISTORY

Received: 12/9/2022
Accepted: 7/11/2022

KEY WORDS

Architectonic mockup, Math, architecture, teaching-learning.

ABSTRACT

This article presents the teaching experience of using the model as a didactic resource to teach mathematics in architecture. For architects, the concepts of graphic representation, projection, and the generation of models constitute the main instrument in their training. However, mathematical tools are essential for this purpose. In this sense, models allow the projection of ideas to scale, generating an object that is easy to visualize and understand from the student's perspective, which is why they are an important didactic resource for the teaching and learning process. This work details the contents of the subject of Mathematics, describes the activity carried out by the students, describes the application of mathematics and the correlation of mathematical concepts with the models, and finally presents conclusions about the experience.

PALABRAS CLAVE

Maqueta arquitectónica, matemáticas, arquitectura, enseñanza-aprendizaje.

RESUMEN

Este artículo expone la experiencia docente de utilizar la maqueta como un recurso didáctico para enseñar matemáticas en la carrera de Arquitectura. Para los arquitectos los conceptos de representación gráfica, proyección y generación de maquetas constituyen un instrumento principal en su formación, no obstante, las herramientas matemáticas son fundamentales para tal objetivo. En ese sentido, las maquetas permiten proyectar ideas a escala, generando un objeto sencillo de visualizar y entender desde la perspectiva de los estudiantes, por ello son un recurso didáctico importante para el proceso de enseñanza-aprendizaje. En este trabajo se detalla los contenidos de la materia de Matemática, se describe la actividad realizada por los estudiantes, la aplicación de las matemáticas y la correlación de los conceptos matemáticos con las maquetas, finalmente se presenta conclusiones sobre la experiencia realizada.

I. INTRODUCCIÓN

Las matemáticas son una materia fundamental en la formación de arquitectos e ingenieros, además de otras carreras que requieren de conocimientos elementales de esta asignatura. En este sentido, las universidades y centros técnicos la incluyen como una materia obligatoria en sus mallas académicas. Si bien la importancia de

esta materia es un hecho, debido a las implicaciones en la vida cotidiana y práctica profesional, en muchos casos los estudiantes universitarios no pueden apreciarlo. Los alumnos universitarios de matemáticas suelen sentir poca motivación y hasta rechazo por la materia [1]. En este trabajo se expone que una probable causa es tener

una mala experiencia con la materia en niveles anteriores, respaldando esta idea con los estudios de [2] y [3]. Entonces, para los docentes universitarios se vuelve un desafío enseñar matemáticas. Existe una relación importante entre la forma de comunicar las representaciones numéricas, algebraicas, entre otros conceptos matemáticos, con el aprendizaje por parte de los estudiantes [4].

Con base en la revisión bibliográfica sobre alternativas de enseñanza, [5] argumenta que el modelo tradicional de enseñanza de cálculo es un paradigma cuyos resultados de aprendizaje son fuertemente cuestionados. Asimismo, en [6] se manifiesta como una necesidad actual exponer la aplicabilidad de los conceptos y propiedades matemáticas que se enseña en las aulas.

En [7] concluyen que una aplicación directa de las matemáticas a la arquitectura puede potenciar la motivación en los estudiantes, además de generar una experiencia innovadora durante su aprendizaje.

Cabe destacar que el ser humano reconoce el mundo mediante los sentidos, es decir, mediante la generación de experiencias que contienen elementos visuales, auditivos, kinestésicos-sensoriales, olfativos y gustativos [8]. Además, [9] plantea que los medios para el proceso de enseñanza se pueden clasificar en materiales audiovisuales, convencionales y nuevas tecnologías.

Un recurso didáctico es un conjunto de medios materiales, ya sean físicos o virtuales, que intervienen y facilitan el proceso de enseñanza-aprendizaje [10]. También se conoce a estos recursos didácticos como material didáctico, medio educativo, apoyo didáctico, entre otros.

Por otro lado, [11] expone que la arquitectura se representa mediante la generación de dibujos y maquetas, haciendo especial énfasis en las maquetas. En esta misma línea de pensamientos, [12] argumenta que la maqueta es una herramienta que permite proyectar de forma clara y comprensible las ideas, además son fáciles de ejecutar, rápidas, no requieren mayor conocimiento previo y son accesibles a los estudiantes. Por ejemplo, en [13] los estudiantes de la Universidad Nacional de Río Negro en Argentina estudiaron las ecuaciones de superficies, cortes y propiedades de objetos matemáticos materializados en maquetas a escala con resultados favorables al proceso de aprendizaje de las matemáticas.

Algunas ventajas del uso de los materiales didácticos son: ofrecer actividades atractivas y motivadoras, permitir progresar a los alumnos mediante una participación activa y autónoma, contribuyen a un entorno que simula problemas, permite un aprendizaje significativo y entretenido, son flexibles y permiten trabajo en grupo [14].

En [15] se menciona que es evidente la necesidad de aplicar estrategias novedosas e innovadoras para motivar e involucrar a los estudiantes con su propio

aprendizaje; estas estrategias son clave y esenciales para mejorar la educación.

Según [16], la utilización de objetos de aprendizaje promueve la construcción, comprensión y aplicación del conocimiento. Asimismo, [17] menciona que es necesaria la coordinación de docentes y estudiantes para la elaboración de los recursos, destacando que es fundamental identificar las necesidades de la materia.

Bajo este esquema, se implementó a la maqueta arquitectónica como un recurso didáctico para la enseñanza de matemáticas, insistiendo en los contenidos de geometría analítica, funciones y cálculo. Sobre todo, generando un vínculo entre contenidos formales y la futura práctica profesional de los estudiantes. Es preciso señalar que el objetivo principal de utilizar la maqueta fue motivar a los estudiantes a estudiar matemáticas, además de presentar situaciones que requieren de la aplicación directa de los contenidos desarrollados en clases. También es importante mencionar que la maqueta, como instrumento de enseñanza, es un tema de continuo análisis en taller arquitectónico [18].

Finalmente, se destaca que la estructura de este trabajo comprende: introducción (sección 1), metodología (sección 2), resultados y discusión (sección 3), finalmente se exponen las consideraciones finales (sección 4).

2. MÉTODO

La investigación se basa en la experiencia docente en el aula, es decir, una investigación de acción [19]. De acuerdo con [20] se trata de una investigación sustantiva que tiene como propósito describir y explicar la realidad. El estudio se enmarca en un enfoque cualitativo con un diseño de carácter descriptivo correlacional que permite describir los resultados individuales y correlacionar las variables involucradas [21].

Las actividades fueron aplicadas a veinte estudiantes adultos de la carrera de arquitectura de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, sede Santo Domingo (PUCE SD), quienes al momento del estudio cursaban el primer semestre y estaban matriculados como alumnos de la materia de Matemática I en el paralelo A. El sílabo de la materia contempla tres secciones principales, que incluyen geometría analítica, funciones y cálculo, en la tabla 1 se presenta el contenido de la materia (ver Tabla 1).

Las clases se realizaron de manera virtual mediante la plataforma Zoom, las tareas y evaluaciones se gestionan mediante la plataforma virtual de la universidad. Es importante destacar que los estudiantes desarrollaron las maquetas como trabajos para sus otras cátedras de la carrera, cumpliendo con el objetivo de vincular las materias y sus contenidos.

Tabla 1.*Contenido de la materia de Matemática I*

Geometría analítica	Funciones	Introducción al cálculo
El plano cartesiano.	Definición de función.	Aproximaciones y límites.
Lugar geométrico.	Parametrizaciones.	Derivadas.
Transformaciones del plano.	Elementos de las funciones.	Optimización.
Cónicas	Composición de funciones.	
	Modelamiento	

Fuente. Elaboración propia.

Figura 1.*Materias de primer semestre de la carrera de Arquitectura de la PUCE SD*

En la figura 1 se presenta un esquema de las materias de primer semestre y su interrelación en la formación de los estudiantes (ver Figura 1).

Como punto de partida se realizó una evaluación diagnóstica de los contenidos de matemática a nivel secundario, posteriormente se receptó los comentarios de los estudiantes sobre sus experiencias con las matemáticas. Como metodología de clases se combinó conferencias magistrales con actividades de exposición de los estudiantes, vinculándolos con su proceso de aprendizaje, además de utilizarse otros recursos tradicionales de enseñanza. No obstante, como recurso didáctico en este proceso de enseñanza se empleó la maqueta física para ilustrar los contenidos de la materia y su aplicabilidad en el contexto de la arquitectura. Además, en conjunto con las otras cátedras se realizan evaluaciones de los trabajos integrales de arquitectura. Al finalizar el semestre se empleó la técnica de encuesta para la recolección de la información, el instrumento que se utilizó fue un cuestionario realizado en Google Form.

Los trabajos de las maquetas se entregan con un reporte escrito, en el cual se describe los fundamentos técnicos sobre conceptos matemáticos utilizados. En la figura 2, se presenta los criterios de evaluación de la maqueta, la presentación oral y el reporte escrito. Se asigna mayor puntaje a solidez técnica (28%), aporte al curso (20%), maqueta (16%) y redacción (12%) (ver Figura 2).

A cada criterio de evaluación se califica con un puntaje discreto entre 1 y 4, siendo 1 poco satisfactorio y 4 excelente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la evaluación diagnóstica se evidenció un vacío de los contenidos básicos de matemáticas por parte de los estudiantes. Además, los estudiantes expresaron que la Matemática no es «su materia favorita», en muchos casos atribuyendo a sus experiencias previas en la secundaria y que no pueden comprender su aplicación a la carrera que cursan.

Las clases combinaron conferencia magistral por parte del docente, actividades de talleres individuales y grupales, exposiciones de los estudiantes e incluso actividades lúdicas como juegos en línea, incluyendo los contenidos de matemáticas como se aprecia en la figura 3 (ver Figura 3).

Estas actividades no reflejaron un aprendizaje significativo por parte de los estudiantes durante las evaluaciones o en las intervenciones en clases y por lo tanto no se cumplía su objetivo del curso. Se evidenció que los estudiantes preguntaban en cada oportunidad las aplicaciones de los conceptos estudiados, aunque se lo presentaba en figuras o fotografías. En consecuencia, se considera vincular a los conceptos matemáticos con objetos físicos

Figura 2.

Criterios de evaluación y porcentajes asignados

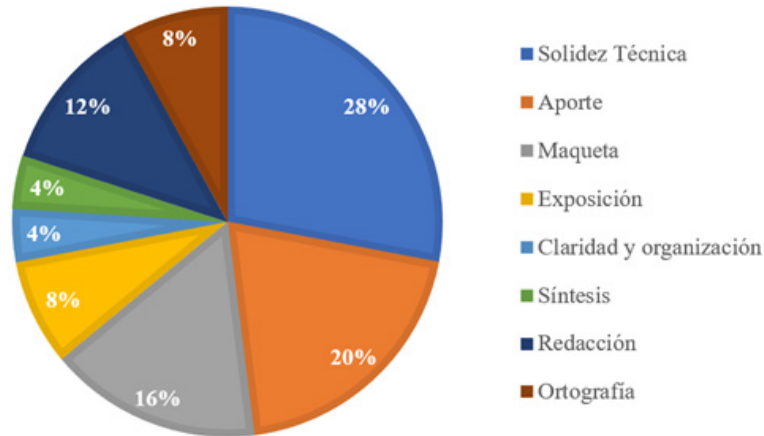
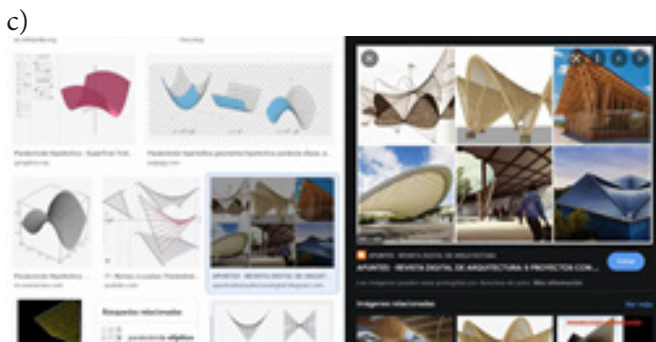
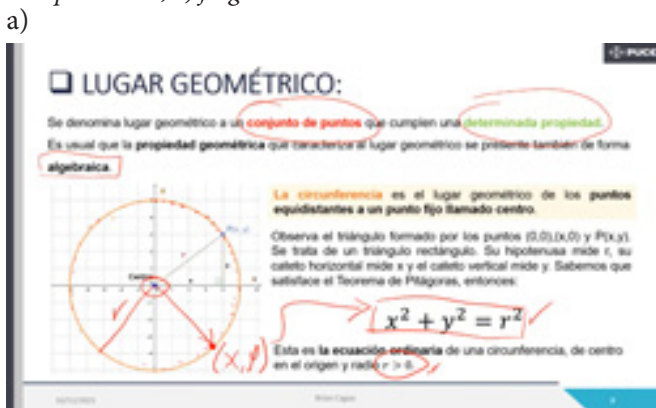


Figura 3.

Actividades tradicionales de enseñanza-aprendizaje empleadas: a) clase magistral; b) exposiciones de los estudiantes; c) investigaciones sobre aplicaciones; d) juegos en línea



que puedan ser apreciados por los estudiantes y que puedan vincular con las otras cátedras.

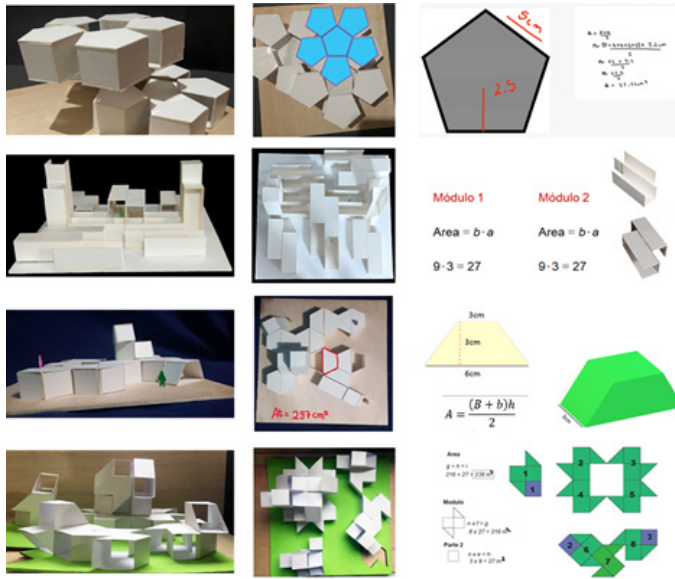
Posteriormente, se incluye la maqueta como un recurso didáctico en el curso de Matemática. La primera actividad donde se vinculó la maqueta con los contenidos de matemática fue una presentación que permitió integrar todas las materias de primer semestre en una evaluación parcial. En cuanto al parámetro matemático evaluado el objetivo fue calcular el área y volumen de los elementos que componen la maqueta, donde el área permite conocer la superficie que en la realidad podría pintarse o tener cerámica, porcelanato o algún tipo de recubrimiento,

ya sea de pared o piso. Además, el volumen se relaciona con el espacio que ocupará la maqueta. De esta forma el estudiante debe demostrar su capacidad para descomponer a la maqueta en figuras geométricas sencillas y calcular el área o volumen total como la sumatoria del área o volumen de cada componente de su maqueta. En la figura 4, se presentan algunas maquetas, destacan figuras como rectángulos, trapecios, triángulos y polígonos regulares (ver Figura 4).

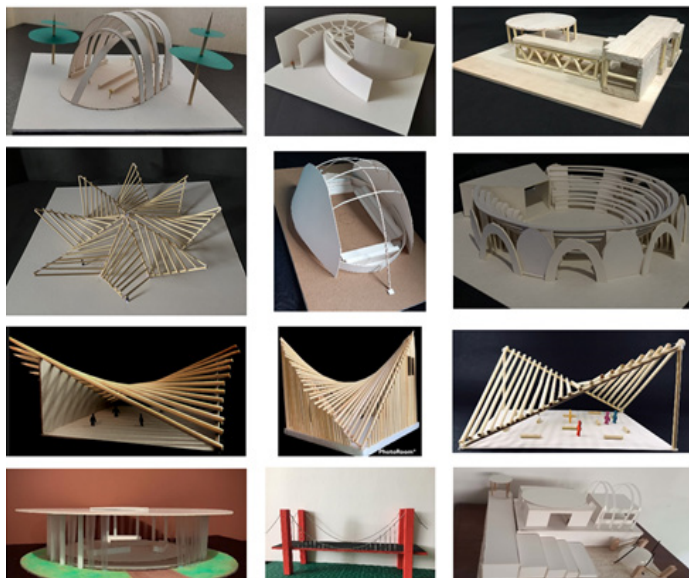
Al finalizar el semestre se realizó una presentación de los conceptos matemáticos expresados mediante maquetas, entre ellas se puede destacar la utilización de figuras

Figura 4.

Algunas maquetas desarrolladas por los estudiantes para ejemplificar el cálculo de áreas

**Figura 5.**

Ejemplos de algunas maquetas desarrolladas por los estudiantes para ejemplificar el aprendizaje de matemática



geométricas como circunferencia, parábolas, elipses y paraboloides hiperbólicos como se ilustra en la figura 5 (ver Figura 5).

En las presentaciones de los estudiantes se describieron los conceptos matemáticos utilizados, por ejemplo: elementos de los lugares geométricos, su generación y representación mediante expresiones matemáticas, cálculos de área y volúmenes, áreas de sombras a diferentes horas del día, determinación de materiales, además demostraron su habilidad para graficar funciones en GeoGebra, esto último sirvió para entender las figuras en 2D. En algunas presentaciones se hizo alusión a conceptos de resistencia, estabilidad y optimización de material.

De la encuesta realizada a los estudiantes, en la pregunta respecto al nivel de utilidad de cada actividad desarrollada en el curso se obtienen los resultados de la figura 6. La mayoría de estudiantes, alrededor de 60%, indican que las clases magistrales, exposiciones de los estudiantes y juegos en línea fueron muy útiles para su proceso de aprendizaje, sin embargo, un mayor número de estudiantes piensan que las maquetas tuvieron un notorio nivel de utilidad para las clases. Es importante observar que los mapas mentales y ensayos tienen un menor número de apoyo como actividades para las clases de matemática. Además, de los comentarios recopilados en la encuesta se indica como idea central lo práctico, visual y participativo de utilizar maquetas para vincular con las clases de matemática (ver Figura 6).

Por otra parte, 63% de los estudiantes piensa que la metodología utilizada, de vincular las maquetas, contribuyó «mucho» a su aprendizaje de la materia, un 25% indica que fue lo «suficiente» y un 13% contesta que contribuyó «en algo» a su aprendizaje.

Del grupo de estudiantes, un 75% es muy probable que recomiende el uso de maquetas como apoyo a las clases de Matemática y solo un 6% es poco probable que lo recomiende, estos resultados se presentan en la figura 7 (ver Figura 7).

Todos los estudiantes presentaron sus trabajos en exposiciones virtuales, estos fueron apoyados por las explicaciones del docente y un reporte escrito por parte del estudiante.

4. CONCLUSIONES

La enseñanza de matemáticas es un reto para profesores, indistintamente del nivel de instrucción. Este trabajo pretende poner de manifiesto y exponer la importancia de la maqueta como recurso didáctico para apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje de matemáticas en la carrera de Arquitectura.

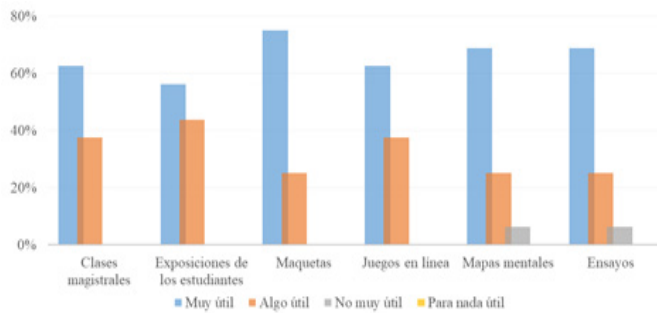
Se evidenció la motivación, participación e interés de los estudiantes por las matemáticas y sus aplicaciones mediante la elaboración de maquetas, inclusive en algunos casos las presentaciones citaron obras de arquitectos famosos como su fuente de inspiración.

Se percibió una actitud positiva por parte de los estudiantes ante esta estrategia de enseñanza de las matemáticas, se puede indicar que existe mayor predisposición a estas actividades con respecto a las «tradicionales».

Vincular las materias de la carrera de Arquitectura permite al estudiante entender su interrelación y el aporte de los contenidos desarrollados en las clases para su formación profesional.

Figura 6.

Respuesta sobre el nivel de utilidad de cada actividad en el curso



Las evaluaciones tradicionales mediante talleres, pruebas o exámenes escritos son importantes para conocer el nivel de aprendizaje que tienen los estudiantes, no obstante, en muchos casos los resultados «no satisfactorios» pueden ocasionar una disminución del interés en la materia y una probable afectación a la autoestima que genera frustración. Por lo contrario, al evaluar la investigación, elaboración de maqueta, presentación y documentación en un reporte se permite una valoración integral de las destrezas, habilidades y conocimientos del estudiante, que disminuye los efectos anteriormente descritos.

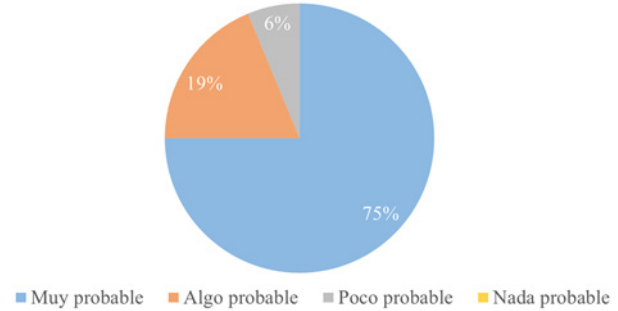
La actividad de la maqueta, al final del semestre, permitió hacer una revisión de todos los conceptos matemáticos impartidos en clases y con esta retroalimentación aclarar nuevas interrogantes sobre su aplicación directa a la materia.

La aplicación de la maqueta física se realizó con estudiantes de primer semestre de Arquitectura, se recomienda replicar la actividad con estudiantes de ciclos superiores y elaborar maquetas virtuales. Es probable que las maquetas virtuales permitan una mayor flexibilidad para la aplicación de fórmulas matemáticas y creación de diseños arquitectónicos.

Se recomienda fomentar la investigación educativa, con el propósito de mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje y generar estrategias innovadoras que permitan un aprendizaje significativo.

Figura 7.

Respuesta sobre el nivel de utilidad de cada actividad en el curso



REFERENCIAS

- [1] D. J. Mota Villegas and R. E. Valles Pereira, «El número áureo Como Elemento motivador hacia el estudio de las matemáticas», *INNOVA Research Journal*, vol. 5, n.º 2, pp. 157-173, 2020.
- [2] O. J. Padrón Martínez, «¿Qué dicen los docentes paraguayos en cuanto al afecto en el aprendizaje de la Matemática?: una mirada desde el Curso Ñanduti», *Revista Iberoamericana de Educación Matemática*, vol. 24, n.º 43, 2016.
- [3] F. Caballero Jiménez y J. G. Espínola Reyna, «El rechazo al aprendizaje de las matemáticas a causa de la violencia en el bachillerato tecnológico» *Ra Ximhai*, 2016, pp. 143-162.
- [4] R. Duval, «A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics», *Educational Studies in Mathematics*, vol. 61, n.º 1-2, 2006, pp. 103-131.
- [5] P. Salinas y J. A. Alanís, «Hacia un nuevo paradigma en la enseñanza del Cálculo dentro de una institución educativa» *Revista latinoamericana de investigación en matemática educativa*, vol. 12, n.º 3, 2009, pp. 355-382.
- [6] S. A. Hernández, W. R. Acosta y B. S. Marrón, «Funciones matemáticas a través del enfoque ciencia, tecnología, ingeniería, arte y matemática (CTIAM)», *Números: Revista de Didáctica de las Matemáticas*, n.º 108, 2021, pp. 161-177.
- [7] A. E. Merino, M. E. Cueva y C. A. Guachamín, «Superficies regladas en GeoGebra como vínculo entre la matemática y la arquitectura», 2020.
- [8] L. A. Morales y T. Guzmán, «El vídeo como recurso didáctico para reforzar el conocimiento», en *Memorias del Encuentro Internacional de Educación a Distancia*, 2014.
- [9] P. Marqués, «Los medios didácticos», Universidad Autónoma de Barcelona, 2005.
- [10] P. Morales, *Elaboración de material didáctico*, Tlalne-pantla, México: Red Tercer Milenio, 2012.

- [11] W. Knoll y M. Hechinger, *Maquetas de arquitectura: técnicas y construcción*, Barcelona: Gustavo Gili, 2001.
- [12] M. T. Pérez, J. I. Ferreiro, R. E. Pigem, R. Tomás, M.G. Serrano and M. C. Díaz, «Las maquetas como material didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la lectura e interpretación de planos en la ingeniería», en *XVIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, Diseño e Innovación*, Barcelona, 2006.
- [13] C. E. Garelik, L. Pugini, M. V. Pistonesi, M. P. Martínez y E. Llorens, «Desafío pedagógico en la Universidad Nacional de Río Negro. La matemática aplicada vinculada a un objeto arquitectónico», en *3.ªs Jornadas sobre las Prácticas Docentes en la Universidad Pública. El proyecto político académico de la educación superior en el contexto nacional y regional*, 2020.
- [14] J. L. González, «Recursos, material didáctico y juegos y pasatiempos para Matemáticas en Infantil, Primaria y ESO: consideraciones generales», *Didáctica de las matemáticas*, Universidad de Málaga, 2010.
- [15] P. J. Navarrete, *Importancia de los materiales didácticos en el aprendizaje de las matemáticas*, Tesis de grado, Universidad de Jaén, 2017.
- [16] E. Aragón, C. C. Castro, B. A. Gómez y R. G. Placencia, «Objetos de aprendizaje como recursos didácticos para la enseñanza de matemáticas», *Apertura: Revista de Innovación Educativa*, vol. 1, n.º 1, pp. 100-111, 2009.
- [17] G. Vargas, «Recursos educativos didácticos en el proceso enseñanza aprendizaje», *Cuadernos Hospital de Clínicas*, vol. 58, n.º 1, 2017, pp. 68-74.
- [18] M. Cubalo, «Enseñar con tecnologías. La maqueta como herramienta con valor didáctico-disciplinar y los modos de aproximación al conocimiento en la enseñanza del proyecto arquitectónico», *Itinerarios Educativos*, n.º 8, 2016, pp. 77-97.
- [19] D. Burns, *Systemic action research: a strategy for whole system change*. Bristol: Policy Press, 2007.
- [20] H. Sánchez y C. Reyes, *Metodología y diseños en la investigación Científica*, Lima: Editorial Visión Universitaria, 2015.
- [21] R. Hernández, C. Fernández y P. Baptista, *Metodología de la investigación*, México D. F: McGraw-Hill Interamericana Editores, 2014.



REVISTA INGENIO

Non-Powered Hand Tool: Size Selection from an Anthropometric Ergonomic Point of View

Herramienta Manual sin Motor: Selección de Tamaño desde un Punto de Vista Ergonómico Antropométrico

Ricardo Arciniega Rocha | [iD](#) Óbuda University, Budapest, Hungría
Vanessa Cristina Erazo Chamorro | [iD](#) Óbuda University, Budapest, Hungría
Szabo Gyula | [iD](#) Óbuda University, Budapest, Hungría

ARTICLE HISTORY

Received: 5/9/2022
Accepted: 10/11/2022

KEY WORDS

Industrial risk, tools selection, hand tools, occupational safety, tool size.

PALABRAS CLAVE

Riesgos industriales, selección de herramientas, herramientas manuales, seguridad en el trabajo, tamaño de herramienta.

ABSTRACT

In order to improve production companies are laying out resources to minimize time and save the worker force in each workstation. It means the ergonomist specialist must choose the correct hand device according to each worker. The goal of this research is to set forth an instructions set for tool hand tools selection focused on anthropometrics of the workers in order to rise production using the adequate tool for the task. During the study, the anthropometrical data is processed and evaluated to obtain the dispersion population for each finger length and identified the main body size parameters for design tools. As a result, a methodical guide to help ergonomics team managers to make sure the correct and appropriate tool size selection to reduce the possibility of future illness for workers and the tailored ergonomic design of each workstation according to specific data for the worker.

RESUMEN

Con el fin de mejorar la producción, las empresas están disponiendo recursos para minimizar el tiempo y ahorrar mano de obra en cada puesto de trabajo. Significa que el especialista en ergonomía debe elegir el dispositivo de mano correcto de acuerdo con cada trabajador. El objetivo de esta investigación es establecer un instructivo para la selección de herramientas manuales enfocado en la antropometría de los trabajadores para elevar la producción utilizando la herramienta adecuada para la tarea. Durante el estudio, los datos antropométricos se procesan y evalúan para obtener la población de dispersión para cada longitud de dedo e identificar los principales parámetros de tamaño corporal para las herramientas de diseño. Como resultado, se elaboró una guía metódica para ayudar a los jefes de equipo de ergonomía a asegurarse de la selección correcta y adecuada del tamaño de la herramienta para reducir la posibilidad de futuras enfermedades de los trabajadores y el diseño ergonómico personalizado de cada estación de trabajo de acuerdo con los datos específicos del trabajador.

I. INTRODUCTION

The methods for tool selection means great concern for the probability of workers' future illness after realizing one task a lot of time due to the repetitively and the necessary force during the work. One of the biggest problems is market dependence, owing that the companies who designed the hand tool tried to make the design for all users but it can be a problem for specific users.

Nowadays, as the globe becomes more industrialized, an increasing number of businesses are investing money

and resources to improve production time while keeping human resources in mind. [1]–[3] The monitoring of the number of musculoskeletal problems in developed countries focuses on the method of observation in organizations that utilize hand tools to complete the exact task in each workstation [4], [5].

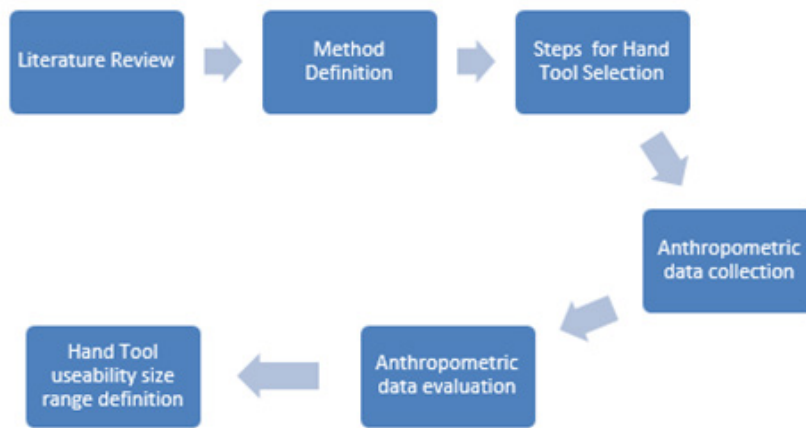
The variables to control are explained and exposed in the industrial document statements and international standards to reduce their effect on workers, as well as the

Table 1.
us 2015, occupational injuries

Injury source	OCCUPATIONAL INJURIES	
	Hand machines	Hand devices
total	59,83	52,03
Incidence rate	54	47
Sick days	7	5

Source [11].

Figure 1.
Research process definition



method of data collection, [6] It's also vital to note that some key features can cause a biased in tool selection are not mentioned in the papers.

The evolution of risk assessment tools in the industry are going from paper-pencil worksheets to artificial intelligence to prevent and minimize the causes of worker illness. It is focused on the causes of various occupational illness for specific body parts. As a result, businesses face the challenge of constantly improving their management systems [7]–[9].

The problems related to ergonomic for hand tools are frequently dependent on wrist flexion and extension, as well as excessive muscle effort and a high number of manual movement repetitions [10]. According to the U. S. Bureau of Labour Statistics, there were 100.000 injuries related with hand tools or machines. Table 1. Shows the data for labour injuries (see Table 1).

The ergonomics managers in each factory recognize extremity cumulative trauma disorders as key ergonomic risk factors. In order to improve the current situation, a guide for non-powered tool selection for specific work types will be presented in order to improve production

time and prevent worker injuries and future health disorders, this guide is focused on the anthropometrics of workers and the hand dimension analysis to ensure the way for correct and tailored hand tool selection according to the palm-size of the workers (see Figura 1).

Figure 1 shows the approach steps in the research, starting with collecting the data and going through the method definition and finishing with the anthropometric evaluation. This research is structured as follows. Section 2 presents Related works. Section 3 Tool selection method. Section 4 illustrates the Results. Finally, Section 5 presents the Conclusions.

1.1. RELATED WORKS

Commonly, industrial employees utilize hand tools based on their readiness in the workstation; however, before beginning operations in the companies, ergonomics specialists conduct research and pick the appropriate device size; three stages are used in tool selection: i) Known the workplace, ii) anthropometric study, iii) tool selection for workers. Kai WayLi [12] presents «Ergonomic design and evaluation of wire-tying hand tools» (2002),

Table 2.
Injury and possible

Medical problems	Source
Amputations, Cuts, abrasions and punctures	Tools with cutting edges can easily cut body parts
Muscles stress and ligaments inflammation	Repetitive motion all day long, using the same tool
Vision accidents	Flying parts can cause needless and permanent blindness
Fractures	Direct hit with the tool

Source [16].

this offers some ideas on how to build a wire-tying hand tool that will reduce poor posture and physical effort. The research showed that now the wire-tying plier designs minimized labour and employees' difficulty in the sense of physical effort and awkward postures.

During 2013 Harih and Dolšak presents a digital-based hand tool model, constructed from a static digital human-hand model, assuring comfort [13]. Then Sohrabi (2015) introduces The effect of diameter on comfort and force for non-powered hand tools use [14].

In 2015 is presented the use of the Ergonomics in Hand Tool Design [15], by Aptel, Claudon and Marsot, to demonstrate the influence of ergonomics on future illness for workers. Finally, «Usability of machinery» is presented by Szabo (2017), [11] where Wrong operator behaviour is identified as a factor in work accidents.

Whit the given works, it is reasonable to conclude that design optimization and proper tool selection are critical aspects of the present industry trend. However, in most situations, a decision is made without regard for the anthropometrics of workers or their comfort during repetitive job activities. In this regard, the majority of the studies evaluated do not provide a mechanism for selecting tool sizes. This is exactly why the recommended rigorous hand tool selection is so important. As a result, the suggested technique is critical in proving the benefits of choosing the proper tool selection.

2. METHOD

To determine the selection criteria, the Derived / Compiled Data collecting approach is utilized to analyze the received information using the collected information. The criteria for picking information are focused on gathering the most important ergonomic properties of tools for use in general device selection in the industry to avoid potential future problems based on comments from worldwide occupational health institutes.

Hand devices and other hand tools are always a possible source of injury for employees during typical job tasks. Workplace injuries can be caused by a variety of circumstances, and worker disease can be classified in a variety of ways; Table 2. shown the many injury types (see Table 2).

OHSAS 18001 standard gives regulations for health and security, based in Occupational Health and Safety Management Systems (OHSAS) [17]. To cut down on workplace injuries The European Union directive 89/391/EEC [18] says the need to implement measures to improvements in worker safety. Tool selection is done in several steps, including a) knowing your job, b) observing work environment, c) keeping good work posture, and d) selecting the appropriate tool. Various processes are specified in this context in order to create an appropriate tool selection, with a focus on the task, tool features, and Ergonomic Worker Positions.

2.1. WORK ACTIVITY

Starting the hand tool selection process, the first activity is to recognize the task, considering that tools are created for a specific purpose and that non-correct use can produce tool degradation and damage. As another consequence, incorrect tool operation can generate diseases like pain or injury, as illustrated in Figura 2 (see Figura 2).

The workspace for manoeuvring the hand tool is a characteristic to decide the correct tool size, it gives the body length of the specific tool for the task.

2.2. TOOL CHARACTERISTICS

The uncomfortable postures, in combination with the hazardous contact stresses, generate a future injury cause. To avoid this, hand tools must be appropriate for the hand, taking into account the primary tool features stated in Table 3 as well as the gadget assessment criteria (see Table 3).

As another important fact, the texture of the handle tool part shall be considered for a good operation during

Table 3.

Tool Characteristics

Parameters	Shape	Physical dimension	Material surface
Features	Feasible shape	Lightweight	Friction for material in contact surface
	Not cutting edge	Correct tool dimension	Homogeneous distribution force

Source [19].

Figure 2.

Research process definition



A) Incorrect Tool Use



B) Work space

Figure 4.

Power grip



the activities in each workstation to ensure the correct manipulation and fixing of the tool. [20]–[22] The different textures and tool shapes are shown in Figura 3.

The texture improves the tool grip increasing the friction between the tool handle and workers hand, this characteristic shall be functional when the tool is static and when the device is moving, in this sense a non-slip tool handle makes secure the tool use.

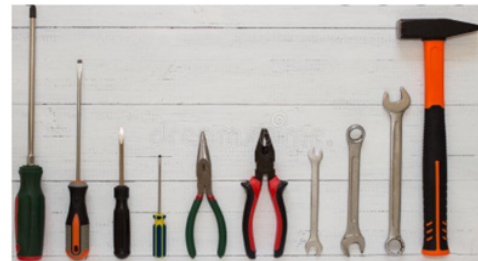
2.3 ERGONOMIC WORKER POSITIONS-WAY OF HANDLING THE TOOL

In order to determine the correct tool for each workstation, identify the handle manner for these devices. In this sense, the tool applications in connection with the handle manner are analysed in relation to the anthropometrics of the workers' hands to establish the correct selection for tool size [23], [24] (see Figura 4).

The tool handle manner used for small and big hammers is the Power Grip subsection shown in Figura 4, to

Figure 3.

Texture of the tool Handle



Texture of the tool Handle

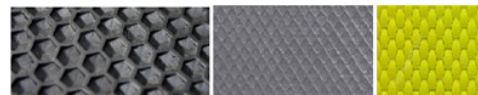


Figure 5.

Single handling tool



realize this action the devices are subjected to the total palm of the hand using all fingers to produce the necessary force to hit the materials [25] (see Figura 5).

Single-Handle Tools shown in Figura 5 is the handling way of the tool used for Tube-like tools driven by handle length and diameter. During this way of grip tool, the devices are subjected to the total palm of the hand and the forces are applied through fingers and the thumb (see Figura 6).

The handling way of the tool used for control, precision and accuracy is Pinch Grip shown in Figura 6, to carry out the work activity the devices are subjected between the thumb, index finger and middle finger to provide the necessary force for the task. Figura 7 shows the «Contact Pressure tool grip», which to different from the previous one is the use of the palm of the hand to provide the force to keep the device against the part to be fixed (see Figura 7).

The handling way of the tool used pliers is shown in Figura 8, Double-Handle Tools grip uses the thumb, index

Table 4.
Hand anthropometry

DIMENTION	MIN	MAX	MEAN	DN	Range	SD
HAND LENGTH	15,9	20,5	18,20	3,2526 91193	4,60	0,01
palm length	8,90	11,6	10,25	1,90918 8309	2,70	0,017 12901
THUMB LENGTH	4,00	5,80	4,90	1,2727 92206	1,80	0,0256 9351
MIDDLE FINGER LENGTH	6,90	9,00	7,95	1,484 92424	2,10	0,022 02301
RING FINGER LENGTH	5,90	8,00	6,95	1,484 92424	2,10	0,0230 2217
LITTLE FINGER LENGTH	4,30	6,30	5,30	1,41 4213562	2,00	0,0222 3021
INDEX FINGER LENGTH	6,00	7,90	6,95	1,3435 02884	1,90	0,0243 4123
MAXIMUM GRIP DIAMETER	4,30	5,90	5,10	1,131 37085	1,60	0,0289 0521

Source. [27].

Figure 6.
Inch Grip handling tool



Figure 7.
Contact pressure handling tool



finger and middle finger to provide the necessary force for the task [26] (see Figura 8).

Employees in the industrial sector represent the majority of each country's economically active population, and numerous studies have been done to collect anthropometric data on them, as shown in table 4 (see Table 4).

3. RESULTS AND DISCUSSION

Three main hand measure sizes are important to enable proper tool selection based on the style of handling: index finger length, middle finger length, and maximum grip diameter. After processing the worker's hand anthropometric data in Table 4 to make sure that the work population can use hand tools, ergonomics managers should select tools with part sizes that fall between the shaded

zone shown in distribution graphic to ensure that 90% of population can be used during the work (see Figura 9).

Index finger length in contact pressure subsection and pinch grip subsection is the main measure, for these tasks which are performed with this finger, such as the little touch between the hand tool and the body. Anthropometric data are provided in Figura 9.

Considering tool activities are performed using the thumb, middle, and index fingers, as well as the tiny contact between the gadget and the body, the maximum handgrip diameter is the most relevant dimension for single handle tools and power grip tools. These anthropometric data are provided in Figura 10 (see Figura 10). Finally, with double-handed tools, the middle finger is the most significant size because tool activities are performed with this finger, such as the little touch between the gadget and the body, as shown in Figura 11 (see Figura 11).

Figure 8.

Double handle tool



Figure 9.

Index finger length

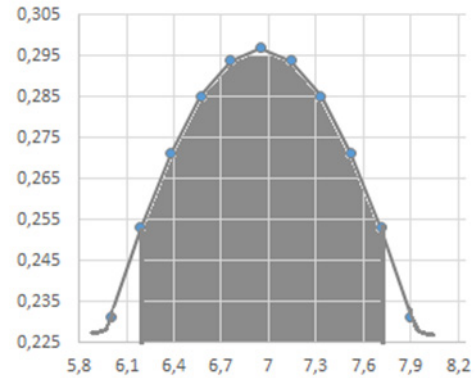


Figure 10.

Handgrip diameter

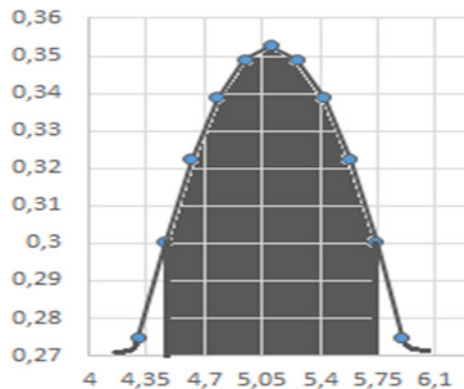
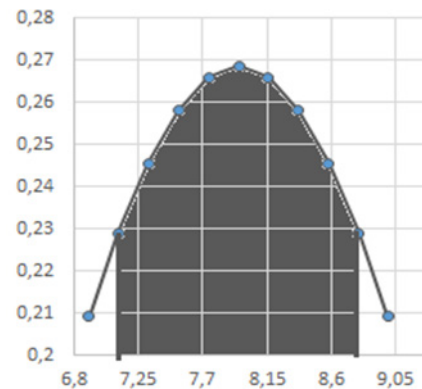


Figure 11.

Middle finger



Increasing productivity and resource efficiency are the industry's main goals in order to enhance profitability. The environmental supervisors will be selective in the size of tools they use to guarantee that this goal protecting the worker from disease met [24]. In order to minimize the possible risk and be agree with previous studies where the safety and healthy workplace is defined [28], this study identified the main used parts during the activities where is needed hand tools.

Another contribution of this study identified the common handling grips subjection for hand tools in concordance with the literature presented by Debesh M. and Suchismita Satapathy [29] in «Hand Tool Injuries of Agricultural Farmers of South Odisha in India».

The international organizations for establishing the standards suggest the dimensions for hand tools focused only from a point of view of task characteristic [30], [31], in this project as a result, is presented the necessary steps for a correct tool selection, each stage has some steps for tool evaluation before the find the chosen one.

4. CONCLUSION

Index finger length in contact pressure subjection and pinch grip subjection is the main measure, for tool activities are performed using the thumb, middle, and index fingers, the handgrip diameter is the most relevant dimension for single-handle tools and power grip tools, with double-handed tools, the middle finger is the most significant size because tool activities are performed with this finger. In concordance with some studies where the method of tool selection is considered [15] taking into account the demographic data of each region and country the selected instrument must be between 10.19 millimetres and a maximum dimension of 11.71 centimetres in order to achieve it for tasks associated to contact pressure subjection. The specified instrument for pinch grip subjection must have a dimension of 6.19 millimetres to a maximum of 7.71 centimetres, the specified tool for activity requiring single-handle tools and power grip applications should be between 4.46 millimetres and a maximum size of 5.74 centimetres, and for activities in-

volving double hand tools, the recommended tool should be lower than 7.11 centimetres in concordance with the OSHA international standard that suggested the values between these limits [32].

REFERENCES

- [1] M. Cardona and C. E. García Cena, «Biomechanical analysis of the lower limb: a full-body musculoskeletal model for muscle-driven simulation», *IEEE Access*, vol. 7, 2019, pp. 92709-92723, DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2927515.
- [2] Z. Wang and C. Zhang, «Three-dimensional hand reconstruction by single-shot structured light line pattern», *IEEE Access*, vol. 6, 2018, pp. 59881-59890, DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2875496.
- [3] R. P. Arciniega-Rocha et al., «Gasket tester for low-pressure pipelines: design and tests», nov. 2019, DOI: 10.1109/ETCM48019.2019.9014904.
- [4] G. Szabo, «Ergo capture: a motion capture based ergonomics risk assessment tool», *Advances in physical ergonomics and human factors: Part II - Google Books*, vol. 2, N.º 2, 2018, pp. 313-321. Accessed: oct. 11, 2021. [Online]. Available: https://books.google.hu/books?hl=en&lr=&id=9oLYBAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA313&dq=info:U7F4Q-XlwmcJ:scholar.google.com&ots=42cdmGH8Ee&sig=uP-mq3Eda8XxU-9Fia2hry-dI81Y&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.
- [5] V. C. Erazo-Chamorro, R. P. Arciniega-Rocha, N. Rudolf, B. Tibor, and S. Gyula, «Safety workplace: the prevention of industrial security risk factors», *Applied Sciences*, vol. 12, N.º 21, oct. 2022, p. 10726. DOI: 10.3390/APP122110726.
- [6] B. Darío et al., «Design of pin on disk tribometer under international standards» Accessed: oct. 12, 2021. [Online]. Available: [https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4180/1/Byron Darío Analuiza Hidalgo.pdf](https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4180/1/Byron%20Dar%C3%ADo%20Hidalgo.pdf).
- [7] G. Szabó and E. Németh, «Development an office ergonomic risk checklist: composite office ergonomic risk assessment (CERA Office)», in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 819, aug. 2019, pp. 590-597, DOI: 10.1007/978-3-319-96089-0_64.
- [8] K. Petrie et al., «A framework to create more mentally healthy workplaces: a viewpoint», *Australian and New Zealand Journal of Psychiatry*, vol. 52, N.º 1, jan. 2018, pp. 15-23, DOI: 10.1177/0004867417726174.
- [9] H. Veisi, A. Choobineh, H. Ghaem, and Z. Shafiee, «The effect of hand tools' handle shape on upper extremity comfort and postural discomfort among hand-woven shoemaking workers», *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 74, nov. 2019, p. 102833. DOI: 10.1016/J.ERGON.2019.102833.
- [10] R. Graveling, «Ergonomics and musculoskeletal disorders (MSDs)» in *The Workplace*. 2018.
- [11] G. Szabó, «Usability of machinery», in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 604, 2018, pp. 161-168. DOI: 10.1007/978-3-319-60525-8_17.
- [12] K. W. Li, «Ergonomic design and evaluation of wire-tying hand tools», *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 30, N.º 3, sep. 2002, pp. 149-161. DOI: 10.1016/S0169-8141(02)00097-5.
- [13] G. Harih and B. Dolšak, «Tool-handle design based on a digital human hand model», *International journal of industrial ergonomics*, vol. 43, N.º 4, pp. 288-295, Jul. 2013, doi: 10.1016/J.ERGON.2013.05.002.
- [14] M. S. Sohrabi, «The effect of non-powered hand tools' diameter on comfort and maximum hand torque», *Iranian Journal of Ergonomics*, vol. 3, N.º 2, 2015, pp. 68-75. Accessed: oct. 18, 2021. [Online]. Available: <http://journal.iehfs.ir/article-1-177-en.html>.
- [15] M. Aptel, L. Claudon, and J. Marsot, «Integration of ergonomics into hand tool design: principle and presentation of an example», *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, vol. 8, N.º 1, 2015, pp. 107-115. <http://dx.doi.org/10.1080/10803548.2002.11076518>, DOI: 10.1080/10803548.2002.11076518.
- [16] R. P. Arciniega-Rocha and V. C. Erazo-Chamorro, «Non-powered hand tool size selection method», in *Mérnöki Szimpózium a Bánkin Előadásai: Proceedings of the Engineering Symposium at Bánki (ESB2021)*, 1st ed., vol. 1, R. Horváth, Ed. Budapest: Óbudai Egyetem, 2022, pp. 37-43.
- [17] C. Uhrenholdt Madsen, M. L. Kirkegaard, J. Dyreborg, and P. Hasle, «Making occupational health and safety management systems 'work': a realist review of the OHSAS 18001 standard», *Safety Science*, vol. 129, sep. 2020, p. 104843, DOI: 10.1016/J.SSCI.2020.104843
- [18] «EUR-Lex - L:1989:183:TOC - en - EUR-Lex» *Official Journal of the European Communities*, vol. 32, 2018. Accessed: oct. 25, 2021. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L:1989:183:TOC>.
- [19] NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), «A guide to selecting non-powered hand tools», California Department of Industrial Relations and the National Institute for Occupational Safety and Health. *DHHS (NIOSH) Publication*, vol. 164, 2004, p. 2004, Accessed: oct. 25, 2021. [Online]. Available: <http://www.dir.ca.gov/dosh/puborder.asp>.
- [20] C. Y. Wang and D. C. Cai, «Hand tool handle size and shape determination based on hand measurements using a contour gauge», *Human factors and ergonomics in manufacturing & service industries*, vol. 30, N.º 5, sep. 2020, pp. 349-364, DOI: 10.1002/HFM.20846.
- [21] B. Guo, L. Tian, and W. Fang, «Effects of operation type and handle shape of the driver controllers of high-speed train on the drivers' comfort», *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 58, Mar. 2017, pp. 1-11. DOI:

- 10.1016/j.ergon.2017.01.003.
- [22] V. C. Erazo-Chamorro, *Máquina peladora rotadora de maní tostado para la industria artesanal* (Tesis de ingeniería). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2014. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/3755> (accessed Jan. 20, 2020).
- [23] S. Verma, «Development and analysis on ergonomic design of hand tool», *International Journal of Research and Analytical Reviews*, vol. 6, n.º 1, 2019, pp. 2348-2350. Accessed: may 30, 2022. [Online]. Available: <http://ijrar.com/>.
- [24] P. Rosero et al., «Human sit down position detection using data classification and dimensionality reduction case based reasoning (CBR) for medical applications View project Optimización del Master Production Schedule en entornos inciertos View project Human Sit Down Position Detection Using Data Classification and Dimensionality Reduction», 2017, DOI: 10.25046/aj020395.
- [25] M. T. Haque and M. T. Haque, «Ergonomic design of hammer handle to reduce musculoskeletal disorders of carpenters Efficiency and Productivity Improvement View project Ergonomic design of hammer handle to reduce musculoskeletal disorders of carpenters», *International Journal of Research in Advanced Engineering and Technology*, pp. 78-83, 2018. DOI: 10.22271/engineering.
- [26] I. Halim, «The influence of hand tool design on hand grip strength: a review» | *International Journal of Integrated Engineering*, vol. 11, n.º 6, 2019, pp. 53-69. Accessed: may 30, 2022. [Online]. Available: <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie/article/view/3802>.
- [27] S. Pheasant, «Anthropometric data – Limited use only», 2005. <http://limited-use-only.com/strategies/anthropometric-data/> (accessed: oct. 26, 2021).
- [28] V. C. Erazo-Chamorro, R. P. Arciniega-Rocha, and G. Szabo, «Healthy and safe workplace definition: a friendly boundary for a complex issue», in *Mérnöki Szimpózium a Bánkin Előadásai: Proceedings of the Engineering Symposium at Bánki (ESB2021)*, 2022, pp. 51–56, Accessed: Jun. 21, 2022. [Online]. Available: https://bgk.uni-obuda.hu/esb/system/files/file_upload/esb2021.pdf.
- [29] D. Mishra and S. Satapathy, «Hand tool injuries of agricultural farmers of south odisha in India», *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, n.º 9, Jan. 2018, pp. 17648-17653, DOI: 10.1016/J.MATPR.2018.06.084.
- [30] «ISO 691:2005(en), Assembly tools for screws and nuts – Wrench and socket openings– Tolerances for general use», <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:691:ed-4:v1:en> (accessed: Mar. 22, 2022).
- [31] ILO, *Safety and health in the use of machinery*, 2013, p. 154,
- [32] C. C. for O. H. and S. CCOHS, «Hand tool ergonomics - Tool design: OSH Answers», Canada, 2020. <https://www.ccohs.ca/oshanswers/ergonomics/handtools/tooldesign.html> (accessed Mar. 22, 2022).



Análisis de la Eficiencia de los Grupos Financieros del Ecuador. Una Propuesta no Paramétrica Basada en el Análisis Envoltente de Datos en Dos Etapas

Analysis of the Efficiency of Financial Groups in Ecuador. A Non-Parametric Proposal Based on Data Envelopment Analysis in Two Stages

Freddy Lenin Villareal Satama | [iD](#) Universidad de los Hemisferios, Quito, Ecuador

Paul Armando Rodríguez Muñoz | [iD](#) Tecnológico Universitario Rumiñahui, Sangolquí, Ecuador

ARTICLE HISTORY

Received: 27/8/2022

Accepted: 27/10/2022

KEY WORDS

Efficiency, data envelopment analysis, financial groups, productivity.

ABSTRACT

The objective of this paper is to analyze the efficiency of financial groups in Ecuador in the period 2015-2021, through the non-parametric methodology of DEA Data Envelopment Analysis, under the two-stage enveloping technique. The data was obtained from the database of the Superintendencia de Banks of Ecuador whose main results show that, of the five financial groups analyzed, three of them present 100% efficiency in all periods and two of them are inefficient because the opportunity arises, to generate substantial improvements through the technical comparison of the input and output variables such as operating expenses, mainly fixed assets that allow them to improve in the medium term.

PALABRAS CLAVE

Eficiencia, análisis envoltente de datos, grupos financieros, productividad.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la eficiencia de los grupos financieros del Ecuador en el período 2015-2021, mediante la metodología no paramétrica del Análisis Envoltente de Datos (DEA), bajo la técnica envoltente en dos etapas. Los datos se obtuvieron de la base de la Superintendencia de Bancos del Ecuador, cuyos resultados principales muestran que, de los cinco grupos financieros analizados, tres de ellos presentan eficiencia al 100% en todos los períodos y dos de ellos son ineficientes, por lo que se presenta la oportunidad de generar mejoras sustanciales mediante la comparación técnica en las variables inputs y outputs como gastos de operación, activos fijos, principalmente, que les permitan mejorar en el mediano plazo.

I. INTRODUCCIÓN

Un grupo financiero es una asociación de intermediarios financieros regidos por un ente controlador como la Superintendencia de Bancos del Ecuador, los cuales están obligados a presentar mensualmente sus balances para garantizar que sus operaciones se encuentran respaldadas y sin riesgo de quiebra para evitar futuros perjuicios

a clientes, como aquellos ocurridos en la década de los noventa durante la crisis financiera del Ecuador.

Las entidades de un grupo financiero pueden ser de un mismo tipo o de objeto múltiple, es decir, siempre que la sociedad controladora mantenga el 50% de las acciones, haciéndose responsable frente a las sociedades que la

integran para cumplir las obligaciones que de cada parte deben ser cumplidas de manera obligatoria. Pueden abarcar las siguientes actividades [1]:

- Almacenes generales de depósito
- Casas de cambio
- Instituciones de fianzas
- Instituciones de seguros
- Casas de bolsa
- Instituciones de banca múltiple
- Sociedades operadoras de fondos de inversión
- Distribuidoras de acciones de fondos de inversión
- Administradoras de fondos

México, en el 2020 contaba con 21 grupos y 88 entidades participantes, entre ellos BBA, Santander, Banorte, Citibanamex, principalmente, concentrando el 69,7% de los activos es, decir, 11,3 billones de pesos derivados al movimiento de inversiones en valores, además de captar el 69,8% de los créditos, siendo la parte bancaria la que tiene mayor participación de activos [2].

En España, los principales grupos financieros están conformados por CaixaBank, Sabadell, Banco Santander, BBVA, Bankia y Bankinter en donde los españoles tienen invertidos 748.016 millones de euros en fondos de inversión y pensiones. Los activos de estos grupos se han incrementado en 26.967 millones de euros y quienes gestionan estos recursos son Black Rock, JP Morgan, Morgan Stanley [3].

Caixabank como primer grupo financiero administra 123.187 millones de euros producto de la absorción con Bankia. En segundo lugar, está Santander que administra 72.356 millones de euros invertidos en instrumentos de inversión colectiva y 70.677 millones de euros administrados por el Grupo BBVA y con una administración importante por CreditAgrícola [3].

En el Ecuador los grupos financieros son el Austro, Pacífico, Pichincha, Produbanco y Diners de los que se tiene datos hasta julio del 2022 en función de la Ley de Desarrollo Económico y Sostenibilidad Fiscal de finales del 2021 que dio lugar a la creación de grupos financieros lo que facilita que el Tratado de Libre Comercio con México siga adelante sumado a la Alianza del Pacífico, que podría dar lugar a que grupos financieros mexicanos liciten por el Banco del Pacífico, cuyos ingresos por la venta se espera ingresen al presupuesto del Estado, lo cual incluye reformas a la Ley de Código Monetario y Financiero para dar paso al mercado de valores y seguros, con ello, el negocio bancario ya no sería únicamente la intermediación financiera, ya que un grupo financiero podría estar conformado por un banco, casa de valores, administradoras de fondos, reaseguros y brookers [4].

En términos financieros, este estudio busca el cálculo de la eficiencia matemática mediante un modelo no

paramétrico, sin embargo, es importante observar el comportamiento de eficiencia financiera del global de este tipo de entidades como se muestra en la figura 1, del 2016 al 2022 que tuvo su pico más alto en el 2016 con aproximadamente el 50%, situación que se ha venido manteniendo a lo largo de los períodos hasta el 2022, excepto en el 2019, que registra el porcentaje más bajo con 35%, aproximadamente, con una recuperación al 2020 del 45%, llegando a niveles de 48% para este año, lo que indica que este tipo de negocios es muy rentable para los accionistas.

Este proceso debe ser evaluado en términos de productividad, de acuerdo con las variables propuestas en este análisis, donde se podrá obtener como resultado la unidad económica DMU que tenga el mejor comportamiento en su gestión, pues la frontera eficiente indicará el grupo financiero que presente la mayor eficiencia al 100%, y aquellos grupos que no lleguen a este valor se consideran ineficientes, pues para llegar a la eficiencia global deberán aplicar estrategias de productividad que les permita ser competitivos en el mercado, toda vez que el Ecuador se ve comprometido con la modernización en el aspecto económico, pues con la firma de tratados de libre comercio, la competencia exigirá inversiones en recursos tecnológicos que permitan ser competitivos y consolidar el espectro financiero en la región (ver Figura 1).

1.1. EFICIENCIA Y PRODUCTIVIDAD

Partiendo del concepto de eficiencia, entendida como la capacidad de generar el mayor beneficio con un determinado uso de factores de la producción, llamados *inputs* y *outputs*, que dan lugar a expresiones que no son parte de indicadores financieros que son acostumbrados para la toma de decisiones en variables de flujo que no toman en cuenta la tecnología y la situación del mercado, que no muestran en detalle las causas de los orígenes de los ratios, desconociendo la variable que puede generar la posible causa de la ineficiencia, por lo que los estudios de eficiencia en varios estudios toman en cuenta la utilización de modelos paramétricos y no paramétricos de estimación con la utilización del análisis envolvente de datos [6].

La productividad puede ser medida de manera directa, sea esta en un solo factor o multifactor, en ambos casos indicarán el resultado de la razón de dividir las unidades producidas, sean bienes o servicios, sobre los recursos utilizados, en el que se tiene en cuenta la tecnología, la calidad y elementos externos para su medición [7].

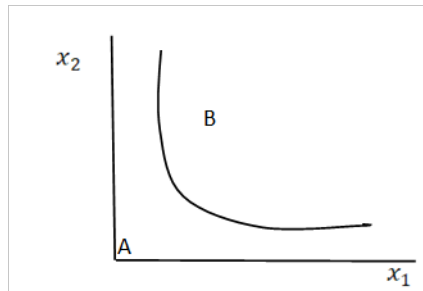
El porqué de la utilización de este modelo, está en función de que permite el uso de un sinnúmero de variables asociadas al negocio y no está atado a una función de producción como los modelos paramétricos y es

Figura 1.
Eficiencia económica de grupos



Fuente. Eficiencias económicas de los grupos 2016-2022 [5].

Figura 2.
Isocuanta-Eficiencia



Fuente. Isocuanta convexa al origen [9].

importante recalcar que las unidades de medida son similares y son evaluadas en las mismas condiciones a todas las DMU, con lo que la homogeneidad tecnológica no se segmenta a la hora de utilizar los inputs y outputs y en su cálculo no existen ventajas económicas que en su efecto puedan ser cuestionadas [8].

Del concepto de eficiencia se derivan las expresiones de eficiencia técnica, como la capacidad de generar la máxima producción con una cantidad mínima de insumos utilizada, por lo que se puede decir que la productividad es entendida como el ratio entre productos producidos sobre los insumos utilizados en una DMU, la misma que varía por la tecnología que las empresas utilizan más que por el proceso productivo o entorno elaborado, es decir, que la eficiencia técnica es uno de los determinantes de la productividad, puesto que, como se indica en el trabajo de [6], la eficiencia está sujeta al nivel de desempeño de cada DMU con la tecnología existente en la industria, factores que son incluidos en el denominador del indicador de la productividad [9].

[9] define a la frontera de producción como la función que determina el máximo producto con la combinación de recursos, esta es convexa al origen, dado que es una isocuanta donde se encuentran las diferentes combinaciones de insumos para producir una cantidad «Y fija», técnicamente eficiente, por lo que la función de producción será $f=(x_1;x_2)$ cumpliendo

$\frac{dy}{dx} = f'(x_i) > 0$, $\left(\frac{d^2}{d^2x_1}\right) = f''(x_i) < 0$ su-
poniendo $\frac{d^2y}{dx_1dx_2} = f''(x_i) > 0$ tomando en cuenta que aumentando los factores en una proporción θ , el producto terminado también aumenta en una proporción $> \theta$ que da lugar a las economías de escala (ver Figura 2).

En este caso, para que se produzca la eficiencia técnica se debe estar sobre la isocuanta, por lo tanto, la empresa A, por términos de tecnología no es viable –por la tecnología– al no poder producir Y con menos recursos de los que se requiere, en cambio que si se emplea más recursos como es el caso de B, los estaría desperdiciando para una cantidad de producción que se necesite; en todo caso, podría producirse con menos recursos, por lo que son ineficientes para llegar a la eficiencia económica global en la que faltaría sumar la eficiencia de precio o asignativa que combina los diferentes insumos en proporciones óptimas en función de los precios de mercado de los insumos con la respectiva restricción presupuestaria o isobeneficio [9].

1.2 ESTADO DEL ARTE

[10] analiza la eficiencia técnica de dieciocho cooperativas de Ahorro y Crédito del Ecuador del segmento uno con datos de la SEPS en el período del 2007 al 2016

con la metodología DEA. Para el análisis utilizaremos un conjunto de datos financieros de cada cooperativa, correspondientes a un período de diez años, 2007-2016, cuyo principal resultado es que una unidad económica evidencia eficiencia al 100% y el resto de las cooperativas tiene un promedio del 77,02%.

[11] realizan una investigación de los aspectos metodológicos del DEA propuestos por Farrell, Charnes, Coopers y Rhodes aplicado al sistema bancario de México en cinco regiones bancarias teniendo como resultado que aquellas instituciones de la región sur, centro y sureste llegan al 100% de eficiencia, mientras que las de la región norte fluctúan en un promedio del 78%, las que tienen una tendencia a ir disminuyendo y cuyas variables pueden deberse al número no óptimo de oficinas y gastos de personal.

[12] aplicando la metodología DEA al sector bancario de México en cinco regiones diferentes propuestas por los fideicomisos en el que se busca patrones de eficiencia tomando en cuenta variables como los depósitos, las regiones del sur y centro presentan evidencias de plena eficiencia, mientras que en la parte norte promedia el 80% que, en todo caso, viene a ser correspondiente con el estudio aplicado en el 2010 de [11] para ampliar el análisis e identificar que las variables por mejorar se mantienen.

[13] evalúan la eficiencia social en las cooperativas de ahorro y crédito de Colombia del 2019 con la metodología DEA, bajo el enfoque de frontera no paramétrica radial, orientada al *output*, incorporando una prueba *bootstrap* en la parte inferencial en 137 cooperativas de ahorro y crédito, a las cuales se les midió dos *outputs* y cuatro *inputs*. Los resultados obtenidos muestran que 32 cooperativas presentan eficiencia técnica social, el resto presentan niveles de ineficiencia operando bajo rendimientos decrecientes a escala.

[14] miden mediante el DEA la eficiencia relativa de las unidades que participan en el proceso de crédito de un banco colombiano que se especializa en varios productos bancarios y cada unidad tiene un presupuesto objetivo y a su vez son autónomas. Estas unidades manejan créditos independientes, como el personal, industrial, agropecuario en ocho zonas geográficas, siendo las unidades más eficientes aquellas dedicadas al sector agropecuario, las mismas que se ubican en la parte sur del país y el sector cafetero; a su vez, las que presentan niveles de eficiencia menores son las dedicadas a la banca personal dado sus niveles de recuperación de cartera.

[15] consideran el análisis del desempeño del banco en cuanto a sus divisiones mediante una estructura de red mixta de descomposición relacional y agregación aditiva en Taiwán en el que encuentra evidencia de que la eficiencia de la banca tradicional en préstamos es superada por los negocios de bajo riesgo, es decir, aquellos negocios de inversión o servicios no basados en intereses.

[16] generan un análisis acerca de los bancos de la India en función del apoyo del gobierno para ser más

productivo, ya sea en lo público o privado, realizando el estudio en 66 bancos en el año 2015, mediante el DEA, cuyos resultados evidencian que los bancos indios muestran el 73,44% de eficiencia y para mejorar sus resultados es importante consolidar los bancos del sector público con el fin de reducir bancos para que el sistema sea sostenible.

[17] generan la evaluación de eficiencia mediante DEA a 124 bancos mediante DEA y SFA cuyas comparaciones de resultados muestran diferencias significativas ya que no son muy frecuentes estudios que empleen la comparación de estas dos técnicas, donde las variables socioeconómicas, la propiedad bancaria y las fusiones pueden afectar el poder discriminatorio de los puntajes que pueden ser complementados con los indicadores financieros.

[18] analizan mediante DEA en dos etapas, los autores generan una revisión teórica de la literatura aplicada en la banca en 59 artículos, según el contexto económico, áreas geográficas, metodologías, el enfoque de selección de variables e impacto de variables no discrecionales en eficiencia, obteniendo como resultado la falta de complementariedad en la terminología, evidenciando que los modelos radiales con rendimientos variables a escala y enfoque de intermediación son los más utilizados con el objeto de transformar en oportunidades para futuros análisis.

[19] mediante el DEA en dos etapas analizan el rendimiento de la eficiencia de los bancos rurales islámicos de Indonesia en los bancos Bank Perkreditan Rakyat (BPR) y Bank Pembiayaan Rakyat Syariah (BPRS) los mismos que son ineficientes en términos de intermediación, sin embargo, en términos de producción son eficientes afectados por el índice de adecuación del capital.

[20] evalúan la eficiencia de la banca de Brasil mediante el DEA tomando en cuenta la variable riesgo en 124 bancos en el período 2014-2019, cuyos resultados muestran que la industria bancaria de este país podría incrementar sus productos manteniendo los recursos utilizados, mientras que los bancos de inversión se muestran más eficientes que los bancos comerciales gracias a la gestión de la gerencia.

2. MÉTODO

Los modelos DEA generan una medida de eficiencia orientada según la tipología de los rendimientos a escala. El modelo DEA-CCR (Charnes, Coopers y Rhodes en 1978), generan medidas de eficiencia radial mediante *input* y *outputs* orientadas y este a su vez puede ser de tres formas, fraccional, multiplicativa y envolvente, siendo este último el método por el cual se realiza este estudio [21].

El modelo DEA-CCR en forma envolvente parte del modelo de programación primal hacia el modelo de programación dual en el que existe una variable dual por cada restricción primal, de la misma forma, una restricción

Tabla 1.

Variables del modelo

VARIABLES	FUENTE
Ingresos (Y1)	Estado de resultados grupos
Cartera de créditos (Y2)	Balance general grupos
Gastos de operación (X1)	Estado de resultados grupos
Activos fijos (X2)	Balance general grupos

Fuente. Inputs y outputs del DEA

dual por cada variable primal que son correspondientes, puesto que el problema dual *input* orientado está sujeto a s+m restricciones y es en la literatura el más utilizado en las aplicaciones de eficiencia, [21] de esta forma:

$$\text{Min}_{\theta, \lambda} Z_0 = \theta$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} Y\lambda &\geq y_0 \\ \theta x_0 &\geq X\lambda \\ \lambda &\geq 0 \quad (\text{ecuación 1}) \end{aligned}$$

Donde:

λ es el vector (n*1) de pesos, $\lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_n \end{pmatrix}$. Así, es la intensidad de la unidad j.

θ denota la puntuación de eficiencia técnica de la unidad.

Si la solución es $\theta^*=1$, entonces la unidad económica es eficiente, caso contrario es ineficiente, es decir, $\theta^*<1$, resuelto en una etapa de modo que S_r^+ holgura output y S_i^- holgura input obtenidas de manera residual. Así, si en el óptimo resulta $S_r^{+*}>0$ es probable incrementar el output r en la cantidad dada por esa holgura en la unidad económica, es decir, debe producir $(y_r + S_r^{+*})$ por la cantidad observada y_r .

2.1 EL MÉTODO DE DOS ETAPAS

Como procedimiento alternativo de solución de la ecuación 1, este busca la máxima reducción *input* en la unidad económica para obtener la holgura residual, por lo que es importante pasar a una segunda etapa que maximiza la suma de las holguras *input* y *output* manteniendo de la primera etapa, es decir, implica la resolución de dos problemas por cada unidad económica, [21] entonces:

La primera etapa determina el valor de θ o la máxima reducción proporcional en los *inputs*:

$$\text{Min}_{\theta} = \theta$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} Y\lambda &\geq y_0 \\ \theta x_0 &\geq X\lambda \\ \lambda &\geq 0 \quad (\text{ecuación 2}) \end{aligned}$$

La segunda etapa opera a partir del óptimo de la etapa 1, se ajustan los *inputs* y se maximiza las holguras *inputs* y *outputs* que satisface la condición de optimalidad de Pareto Kooppmans, de esta forma:

$$\text{Min}_{\lambda, S^+, S^-} - (IS^+ + IS^-)$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} Y\lambda &\geq y_0 + S^+ \\ X\lambda &= \theta^* X_0 - S^- \\ \lambda, S^+, S^- &\geq 0 \quad (\text{ecuación 3}) \end{aligned}$$

Donde:

IS^+ es el vector de holguras *output*: $IS^+ = \sum_{r=1}^s S_r^+$

IS^- es el vector de holguras *input*: $IS^- = \sum_{i=1}^m S_i^-$

En cualquier caso, estos modelos se pueden traducir en uno solo de esta forma:

$$\text{Min}_{\lambda, S^+, S^-} Z_0 = \theta - \varepsilon (IS^+ + IS^-)$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} \lambda Y &\geq y_0 + S^+ \\ \lambda X &= \theta^* X_0 - S^- \\ \lambda, S^+, S^- &\geq 0 \quad (\text{ecuación 4}) \end{aligned}$$

2.2. BASE DE DATOS, VARIABLES Y SOFTWARE

Base de datos y variables: para el cálculo de la eficiencia es importante nombrar a los *inputs* y *outputs* que, al tratarse de un modelo no paramétrico, el modelo matemático permite el ingreso de varias variables como sea posible de acuerdo con la necesidad de la investigación. Para el caso de estudio se selecciona cuatro variables derivadas de los estados financieros de los grupos financieros del Ecuador, tomados de la fuente de la Superintendencia de Bancos, el mismo que presenta los boletines mensuales que conforman la base de datos para esta investigación. En el anexo 1 de este trabajo se encuentran los datos para los períodos 2015 al 2021 (ver Anexo 1). Las variables utilizadas para este trabajo son las siguientes (ver Tabla 1).

2.3. SOFTWARE FRONTIER ANALYST

El software empleado en la investigación es Frontier Analyst de Banxia Software Ltd. que es una herramienta de medición de rendimiento para determinar la eficiencia de una serie de unidades productivas. Frontier Analyst toma un número de entradas (*inputs*) y salidas (*outputs*) empleadas y realiza un análisis empleando programación matemática para determinar la eficiencia relativa de las unidades que procesan las entradas y salidas [22].

La técnica empleada es el análisis envolvente de datos

Tabla 2.*Resultados de la eficiencia 2015-2021*

Eficiencias 2015	Score	Eficiencias 2019	Score
GRUPO AUSTRO	94,60%	GRUPO AUSTRO	96,10%
GRUPO DINERS CLUB	100,00%	GRUPO DINERS CLUB	100,00%
GRUPO PACÍFICO	100,00%	GRUPO PACÍFICO	100,00%
GRUPO PICHINCHA	90,30%	GRUPO PICHINCHA	85,40%
GRUPO PRODUBANCO	100,00%	GRUPO PRODUBANCO	100,00%
Eficiencias 2016	Score	Eficiencias 2020	Score
GRUPO AUSTRO	93,70%	GRUPO AUSTRO	94,20%
GRUPO DINERS CLUB	100,00%	GRUPO DINERS CLUB	100,00%
GRUPO PACÍFICO	100,00%	GRUPO PACÍFICO	100,00%
GRUPO PICHINCHA	93,80%	GRUPO PICHINCHA	87,70%
GRUPO PRODUBANCO	100,00%	GRUPO PRODUBANCO	100,00%
Eficiencias 2017	Score	Eficiencias 2021	Score
GRUPO AUSTRO	98,40%	GRUPO AUSTRO	100,00%
GRUPO DINERS CLUB	100,00%	GRUPO DINERS CLUB	100,00%
GRUPO PACÍFICO	100,00%	GRUPO PACÍFICO	100,00%
GRUPO PICHINCHA	91,40%	GRUPO PICHINCHA	92,40%
GRUPO PRODUBANCO	100,00%	GRUPO PRODUBANCO	100,00%
Eficiencias 2018	Score		
GRUPO AUSTRO	95,90%		
GRUPO DINERS CLUB	100,00%		
GRUPO PACÍFICO	100,00%		
GRUPO PICHINCHA	91,40%		
GRUPO PRODUBANCO	100,00%		

Nota. Cálculos realizados en software Frontier Analyst

(DEA) y emplea el método de resolución envolvente en dos etapas para medir la eficiencia del conjunto de unidades productivas [23].

Algunas de las unidades se evalúan como eficientes y pueden considerarse que representan la mejor práctica disponible en el conjunto de unidades de referencia. El software intenta optimizar la calificación de las restantes unidades no eficientes, lo cual da como resultado datos sobre cuánto necesita cada unidad para mejorar e igualarse a las de mejor práctica. Por lo general, una unidad ineficiente intentará igualar características de más de una unidad eficiente. La unidad ineficiente tiene un grupo de pares con el que compara para mejorar su práctica y eficiencia [22].

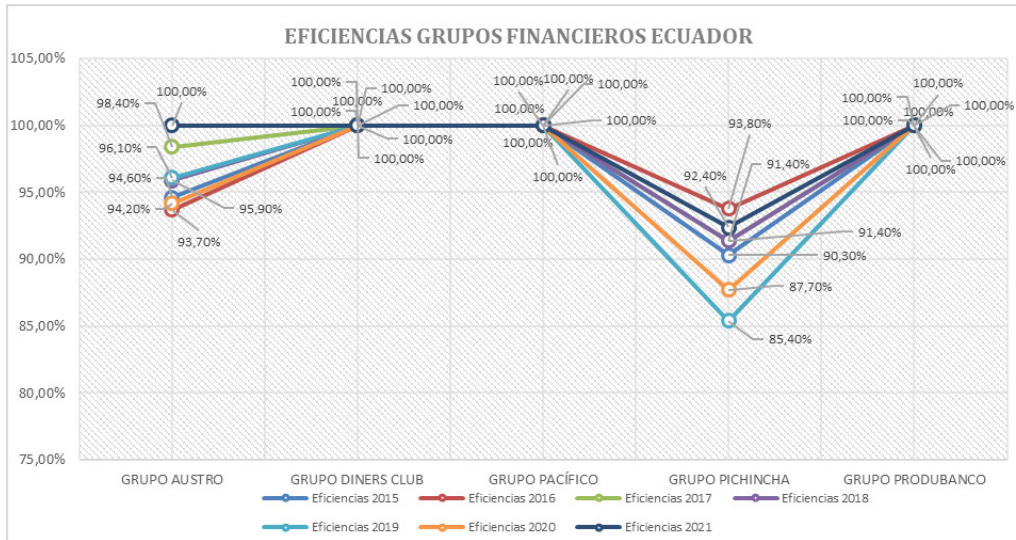
3. RESULTADOS

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 2, se puede evidenciar que los grupos Diners, Pacífico y Produbanco en los períodos del 2015 al 2021 son efi-

cientes al 100% y mantienen este nivel todos estos años, lo que indica que la gestión de sus activos y gastos de operación es adecuada en comparación con el resto de los grupos como Pichincha cuyo promedio de eficiencia es 90,34% y el grupo Austro con un promedio de 96,12% que, en términos generales, son ineficientes (ver Tabla 2). El grupo Austro presenta en el año 2021 un nivel de eficiencia de 100% que es muy probable lo mantenga a lo largo del 2022 pues es posible que haya realizado un *benchmarking* tecnológico para estar a la par de sus competidores.

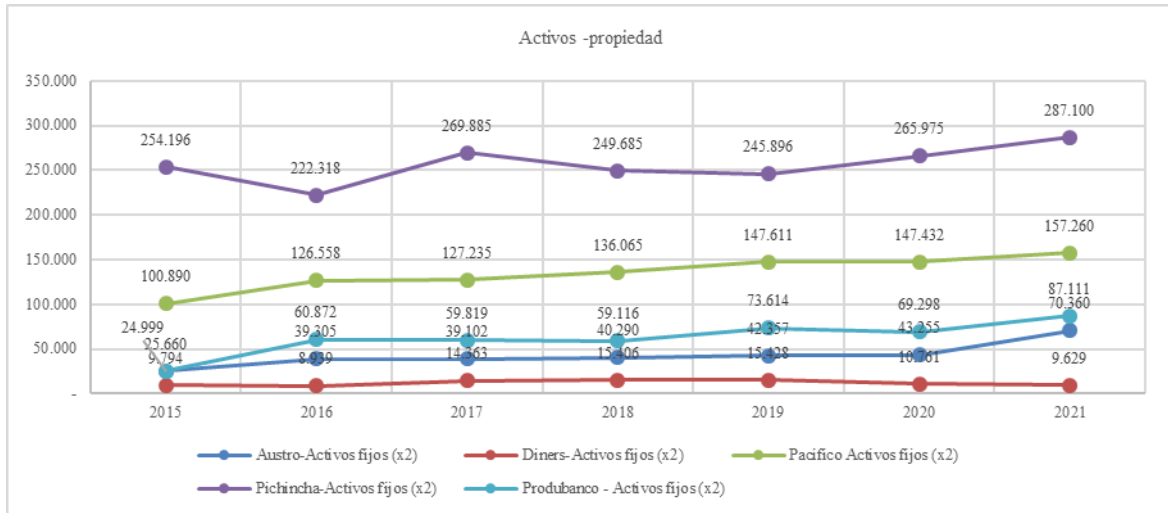
Un aspecto importante a resaltar en términos de eficiencia para aquellos grupos que se encuentran al 100% es, sin lugar a dudas, el uso adecuado de la tecnología para la prestación de sus servicios, es decir, que a partir del 2020 con la aparición de la pandemia del covid-19, las actividades se realizaron bajo modalidad virtual, por lo que con seguridad los grupos realizaron grandes inversiones en tecnología para poder atender a sus clientes, lo que redujo sus costos operativos y de personal, pues en estos dos últimos años se ha experimentado los despidos

Figura 3.
Eficiencias de los grupos al 2021



Fuente. Cálculos realizados en software Frontier Analyst

Figura 4.
Evolución de activos. Grupos



Fuente. Datos obtenidos de la base 2016-2021

masivos que fueron reemplazados por servicios automáticos que son parte de la reingeniería de procesos para un mejoramiento continuo de los productos ofertados (ver Figura 3).

Respecto a las contribuciones de la tabla 3, cada una de las cuentas traducidas a variables contribuyen a la eficiencia de cada Grupo Financiero, se lo puede observar en la tabla 3 y se explica parte de ella, por ejemplo, el Grupo Diners en el 2015 que ostenta una eficiencia del 100%, las variables que contribuyeron a su eficiencia son los gastos de operación y la variable ingresos con el 99,90%, es decir, son las cuentas que este grupo maneja de mejor manera, mientras que las variables cartera de créditos y activos fijos no contribuyen con nada en la eficiencia, sin embargo, en el 2016 estas dos últimas cuentas sí contribuyen con el

25% y 2%, respectivamente.

Para el Grupo Pacífico, que en todos los períodos presenta eficiencia en 100%, de la misma forma la contribución *input output* para el 2015 se da en las variables cartera de créditos 99,90%, gastos de operación 77,90% y activos fijos 22% que contribuyen a su eficiencia

En el caso del Grupo Austro y del Grupo Pichincha, a pesar de ser ineficientes en el año 2015 y en el resto de períodos analizados, de acuerdo con la teoría del DEA, no significa que estos grupos están quebrados, sino que deben mejorar su gestión en todas sus variables, generando una comparación tecnológica y de operación con sus competidores, pues con un 94,60% de nivel de eficiencia sus ingresos no contribuyen a su eficiencia, la cartera de créditos, gastos de operación y activos fijos contribuyen

Tabla 3.*Contribuciones inputs-outputs a la eficiencia d ellos grupos*

Grupo Austro/Contribución input-output 2015		Grupo Austro/Contribución input-output 2016	
Ingresos (Y1)	0,00%	Ingresos (Y1)	67,70%
Cartera de créditos (Y2)	99,90%	Cartera de créditos (Y2)	32,20%
Gastos de operación (X1)	83,10%	Gastos de operación (X1)	85,10%
Activos fijos (X2)	16,80%	Activos fijos (X2)	14,80%
Grupo Diners Club/Contribución input-output 2015		Grupo Diners Club/Contribución input-output 2016	
Ingresos (Y1)	99,90%	Ingresos (Y1)	74,90%
Cartera de créditos (Y2)	0,00%	Cartera de créditos (Y2)	25,00%
Gastos de operación (X1)	99,90%	Gastos de operación (X1)	97,70%
Activos fijos (X2)	0,00%	Activos fijos (X2)	2,00%
Grupo Pacífico/Contribución input-output 2015		Grupo Pacífico/Contribución input-output 2016	
Ingresos (Y1)	0,00%	Ingresos (Y1)	32,40%
Cartera de créditos (Y2)	99,90%	Cartera de créditos (Y2)	67,50%
Gastos de operación (X1)	77,90%	Gastos de operación (X1)	99,90%
Activos fijos (X2)	22,00%	Activos fijos (X2)	0,00%
Grupo Pichincha/Contribución input-output 2015		Grupo Pichincha/Contribución input-output 2016	
Ingresos (Y1)	37,00%	Ingresos (Y1)	63,30%
Cartera de créditos (Y2)	62,90%	Cartera de créditos (Y2)	33,60%
Gastos de operación (X1)	82,60%	Gastos de operación (X1)	89,80%
Activos fijos (X2)	17,30%	Activos fijos (X2)	10,10%
Grupo Produbanco/Contribución input-output 2015		Grupo Produbanco/Contribución input-output 2016	
Ingresos (Y1)	0,00%	Ingresos (Y1)	63,70%
Cartera de créditos (Y2)	99,90%	Cartera de créditos (Y2)	36,20%
Gastos de operación (X1)	54,70%	Gastos de operación (X1)	89,00%
Activos fijos (X2)	45,20%	Activos fijos (X2)	10,90%
Grupo Austro/Contribución input-output 2017		Grupo Austro/Contribución input-output 2018	
Ingresos (Y1)	99,90%	Ingresos (Y1)	99,90%
Cartera de créditos (Y2)	0,00%	Cartera de créditos (Y2)	0,00%
Gastos de operación (X1)	86,80%	Gastos de operación (X1)	87,70%
Activos fijos (X2)	13,10%	Activos fijos (X2)	12,20%
Grupo Diners Club/Contribución input-output 2017		Grupo Diners Club/Contribución input-output 2018	
Ingresos (Y1)	99,90%	Ingresos (Y1)	99,90%
Cartera de créditos (Y2)	0,00%	Cartera de créditos (Y2)	0,00%
Gastos de operación (X1)	97,30%	Gastos de operación (X1)	97,70%
Activos fijos (X2)	2,60%	Activos fijos (X2)	2,20%
Grupo Pacífico/Contribución input-output 2017		Grupo Pacífico/Contribución input-output 2018	
Ingresos (Y1)	99,90%	Ingresos (Y1)	99,90%
Cartera de créditos (Y2)	0,00%	Cartera de créditos (Y2)	0,00%
Gastos de operación (X1)	86,60%	Gastos de operación (X1)	99,90%
Activos fijos (X2)	13,30%	Activos fijos (X2)	0,00%
Grupo Pichincha/Contribución input-output 2017		Grupo Pichincha/Contribución input-output 2018	
Ingresos (Y1)	99,90%	Ingresos (Y1)	99,9%
Cartera de créditos (Y2)	0,00%	Cartera de créditos (Y2)	0,00%
Gastos de operación (X1)	89,60%	Gastos de operación (X1)	91,20%
Activos fijos (X2)	10,30%	Activos fijos (X2)	8,70%

Análisis de la Eficiencia de los Grupos Financieros del Ecuador

Grupo Produbanco/Contribución input-output 2017		Grupo Produbanco/Contribución input-output 2018	
Ingresos (Y1)	0,00%	Ingresos (Y1)	0,00%
Cartera de créditos (Y2)	99,90%	Cartera de créditos (Y2)	99,90%
Gastos de operación (X1)	99,90%	Gastos de operación (X1)	51,40%
Activos fijos (X2)	0,00%	Activos fijos (X2)	48,50%
Grupo Austro/Contribución input-output 2019		Grupo Austro/Contribución input-output 2020	
Ingresos (Y1)	99,90%	Ingresos (Y1)	99,90%
Cartera de créditos (Y2)	0,00%	Cartera de créditos (Y2)	0,00%
Gastos de operación (X1)	99,90%	Gastos de operación (X1)	93,70%
Activos fijos (X2)	0,00%	Activos fijos (X2)	6,20%
Grupo Diners Club/Contribución input-output 2019		Grupo Diners Club/Contribución input-output 2020	
Ingresos (Y1)	0,00%	Ingresos (Y1)	99,90%
Cartera de créditos (Y2)	99,90%	Cartera de créditos (Y2)	0,00%
Gastos de operación (X1)	84,90%	Gastos de operación (X1)	0,00%
Activos fijos (X2)	15,00%	Activos fijos (X2)	99,90%
Grupo Pacífico/Contribución input-output 2019		Grupo Pacífico/Contribución input-output 2020	
Ingresos (Y1)	28,90%	Ingresos (Y1)	41,00%
Cartera de créditos (Y2)	71,00%	Cartera de créditos (Y2)	58,90%
Gastos de operación (X1)	99,90%	Gastos de operación (X1)	99,90%
Activos fijos (X2)	0,00%	Activos fijos (X2)	0,00%
Grupo Pichincha/Contribución input-output 2019		Grupo Pichincha/Contribución input-output 2020	
Ingresos (Y1)	68,30%	Ingresos (Y1)	76,70%
Cartera de créditos (Y2)	31,60%	Cartera de créditos (Y2)	23,20%
Gastos de operación (X1)	91,50%	Gastos de operación (X1)	92,80%
Activos fijos (X2)	8,40%	Activos fijos (X2)	7,10%
Grupo Produbanco/Contribución input-output 2019		Grupo Produbanco/Contribución input-output 2020	
Ingresos (Y1)	0,00%	Ingresos (Y1)	0,00%
Cartera de créditos (Y2)	99,90%	Cartera de créditos (Y2)	99,90%
Gastos de operación (X1)	57,90%	Gastos de operación (X1)	56,80%
Activos fijos (X2)	42,00%	Activos fijos (X2)	43,10%
		Grupo Produbanco/Contribución input-output 2021	
		Ingresos (Y1)	0,00%
		Cartera de créditos (Y2)	99,90%
		Gastos de operación (X1)	99,90%
		Activos fijos (X2)	0,00%

Nota. Cálculos realizados en software Frontier Analyst

con 99,90%, 83,10% y 16,80%, respectivamente. De manera similar se puede interpretar el resto de las variables para los grupos financieros (ver Tabla 3 y Figura 4).

En cuanto a la evolución de los activos se observa que el Grupo Austro posee la mayor cantidad en términos numéricos, sin embargo, no es eficiente en los períodos analizados por lo que es pertinente generar la siguiente hipótesis de investigación:

Ho: Los grupos más grandes respecto al tamaño de sus

activos son eficientes.

H1: Los grupos más grandes respecto al tamaño de sus activos son no eficientes.

En este caso se rechaza la Ho y se acepta la hipótesis alternativa, pues con el cálculo de la eficiencia en este grupo se puede evidenciar que tener un mayor tamaño de activos no significa ser eficiente, al contrario, los equipos y propiedades posiblemente son improductivos y no están siendo utilizados a su máxima capacidad instalada en su operación diaria.

4. CONCLUSIONES

Dentro de las variadas técnicas para calcular la eficiencia se encuentran las tradicionales, las cuales las empresas generan mediante indicadores financieros, sin tomar en cuenta las técnicas paramétricas y no paramétricas que se encuentran disponibles en la literatura y que se utilizaron para este análisis, como la metodología DEA mediante la técnica envolvente en dos etapas, técnica que no está sujeta a una función predeterminada, sino que, al contrario, permite trabajar con las variables que se consideren pertinentes en la investigación. Esta técnica que ha venido desarrollándose desde 1957 del siglo pasado por Farrel y que a lo largo de las décadas se la ha mejorado, tomó sus bases de la investigación operativa utilizada en la parte logística de las tropas estadounidenses y, a partir de ello, fue utilizada en las empresas.

En el DEA la eficiencia se da bajo la combinación lineal que es parte de la frontera eficiente, por lo tanto, ahí se encontrarán las DMU que son eficientes y que sirven de comparación para aquellas DMU ineficientes que es igual a la distancia que le faltaría para ser eficiente. En cuanto a los resultados se observa que la eficiencia al 100% lo mantienen los grupos Pacífico, Diners y Produbanco a lo largo de los períodos analizados 2015-2021, sin embargo, cada uno maneja de mejor forma sus variables evaluadas en el contexto del modelo. El *benchmarking* tecnológico permitirá realizar la comparación de los procesos más eficientes de los grupos que poseen la eficiencia en la prestación de los servicios, pues les permitirá optimizar los recursos utilizados y por lo tanto disminuir los costos de operación para el cumplimiento de los objetivos estratégicos de las corporaciones.

A partir del 2019, con el surgimiento de la pandemia del covid-19, muchas instituciones se vieron obligadas a implementar un adelanto tecnológico no previsto a escala mundial, con el fin de generar inversiones que no estaban previstas en sus presupuestos, pues con los despidos masivos que se experimentaron hasta el 2021 las empresas se vieron forzadas en las adquisiciones de equipos tecnológicos y plataformas virtuales, que en cierto modo suplantaron a la mano de obra, especialmente en los servicios.

Los efectos inmediatos fueron adaptarse a la industria 4.0 y la reciente aparición del metaverso donde los seres humanos interactúan de manera social y económica en un mundo virtual cada vez más competitivo, que nos obliga a manejar el aprendizaje de datos en tiempo real, con la ayuda de una serie de dispositivos electrónicos para interactuar con otros usuarios en una segunda realidad virtual y nuevas formas de trabajo a las que el ser humano debe adaptarse y que, en consecuencia, hará que las empresas que se ajusten a estos cambios sean globalmente eficientes, bajando significativamente los procesos burocráticos, como ocurre actualmente con los conflictos bélicos, donde cada vez observamos menor empleo de personal como recurso, los que a cambio han

sido sustituidos por elementos electrónicos, especialmente por las grandes potencias, conceptos ya introducidos por el escritor estadounidense Neal Stephenson en 1992 e impulsado por Mark Zuckerberg cuando ya confirmaba que su corporación trabajaba con su propio metaverso, desarrollando la tecnología que necesita, pues esta realidad no está lejos de ser utilizada en el proceso productivo de las diferentes industrias [24].

REFERENCIAS

- [1] G. d. México, «cnbv.gob.mx», Sectores supervisados por el gobierno de México, 10 octubre 2013. [Online]. Available: <https://www.cnbv.gob.mx/SECTORES-SUPERVISADOS/OTROS-SUPERVISADOS/Preguntas-Frecuentes/Paginas/Grupos-Financieros.aspx>. [Accessed 1 Agosto 2022].
- [2] El economista, «eleconomista.com», 30 marzo 2021. [Online]. Available: <https://www.economista.com.mx/sectorfinanciero/BBVA-Santander-Banorte-y-Citibanamex-siguen-como-los-principales-grupos-financieros-20210330-0111.html>.
- [3] Finect, «finect.com», 9 febrero 2022. [Online]. Available: <https://www.finect.com/usuario/eduardogarcia/articulos/10-grupos-controlan-ahorros-espanoles>.
- [4] El Universo, «Grupos financieros podrán aglutinar banca, valores y seguros, según reforma de Ley de Desarrollo», Guayaquil, 2021.
- [5] Superintendencia de Bancos del Ecuador, «Boletines estadísticos Grupos Financieros», Superintendencia de Bancos del Ecuador, Quito, 2022.
- [6] L. Belmonte y J. Plaza, «Análisis de la eficiencia en las cooperativas de crédito. Una propuesta metodológica basada en el DEA», *Ciriec*, vol. 63, diciembre 2008, pp. 113-133.
- [7] B. Render and J. Heizer, «Operaciones y Productividad», en *Principios de administración de operaciones*, Naucalpán de Juárez, Pearson, 2014, p. 14.
- [8] J. López and A. Appeninini, «Are italian mutual bank efficient, evidence from two different cost frontier techniques», *Chapters in suerf studies*, vol. 15, 2002, pp. 7-42.
- [9] M. Sanin and F. Zimet, «Estimación de una frontera de eficiencia técnica en el mercado de seguros uruguayo», *Facultad de Ciencias Económicas y de Administración, Universidad de la República*, junio 2017, pp. 1-60.
- [10] J. Campoverde, C. Romero y D. Borenstein, «Evaluación de eficiencia de cooperativas de ahorro y crédito en Ecuador: aplicación del modelo Análisis Envolvente de Datos DEA», *Contaduría y Administración*, vol. 64, N.º 1, marzo 2019, pp. 1-19.
- [11] Z. N. J. Torres y R. Gómez, «El sector bancario en México: un análisis a través de la Envolvente de Datos (DEA)», *Investigación Administrativa*, vol. 39, N.º 106, 2010, pp. 97-113.

- [12] R. Monge, «El sector bancario en México, los depósitos a plazo y las cuentas de ahorro: un análisis de eficiencia durante el período de internacionalización a través de la envolvente de datos (DEA)», *Ciencias estratégicas*, 2012, pp. 13-38.
- [13] J. Clavijo y J. Perea, *Medición de la eficiencia social en las cooperativas de ahorro y crédito en Colombia utilizando DEA no paramétrico*, Maestría en Economía, Universidad Javeriana, Santiago de Cali, 2020.
- [14] P. Sánchez y G. Rodríguez, «Indicadores de eficiencia relativa del proceso de gestión de crédito de un banco colombiano, mediante DEA», *Cuadernos de contabilidad*, 2016, pp. 13-41.
- [15] M. Trung, C. Ping and C. Y. C. Guo, «Mixed network DEA with shared resources: a case of measuring performance for banking industry», in *Operations Research Perspectives*, 2020, pp. 2-11.
- [16] J. Goyan, M. Singh, R. Singh and A. Aggarwal, «Efficiency and technology gaps in Indian banking sector: Application of meta-frontier directional distance function DEA approach», *Advancing Research Envolving Science*, vol. 5, 2019, pp. 156-172.
- [17] P. Wanke, M. Tsionas, Z. Chen and J. Moreira, «Dynamic network DEA and SFA models for accounting and financial indicators with an analysis of super-efficiency in stochastic frontiers: an efficiency comparison in OECD banking», *International Review of Economics & Finance*, vol. 69, sept. 2020, pp. 456-468.
- [18] I. Cotrim, V. Amorim, H. Kimura and E. Barberio, «Two-stage DEA in banks: terminological controversies and future directions», *Expert Systems with Applications*, 2020, pp. 2-31.
- [19] Wasiaturrahma, S. R. S. Raditya, S. Uni and A. Hudaihah, «Financial performance of rural banks in Indonesia: a two-stage DEA approach», *Heliyon*, vol. 6, 2020, pp. 2-9.
- [20] F. Sáez, A. Picazo and I. Jiménez, «Performance and risk in the Brazilian banking industry», *Heliyon*, vol. 7, 2021, pp. 1-11.
- [21] V. Serrano y O. Blasco, *Evaluación de la eficiencia mediante DEA*, Valencia: Universidad de Valencia, 2009.
- [22] Banxia Software Ltd., *Frontier Analyst*, 2022.
- [23] V. Coll y O. Blasco, *Evaluación de la eficiencia mediante el análisis envolvente de datos*, Valencia: Universidad de Valencia, 2006.
- [24] R. Orellana, «es.digitaltrends.com», *Digitaltrends*, 8 agosto 2022. [Online]. Available: <https://es.digitaltrends.com/realidad-virtual/que-es-metaverso/>. [Accessed 16 agosto 2022].
- [25] Superdebanco, «Superintendencia de Bancos del Ecuador», 1 julio 2022. [Online]. Available: <https://www.superbancos.gob.ec/bancos/>.

Anexo 1. Base de datos de la Superintendencia de Bancos del Ecuador

GRUPO AUSTR0	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Ingresos (Y1)	27.424	163.575	174.668	187.421	199.402	191.780	229.319
Cartera de créditos (Y2)	834.194	837.566	888.649	928.805	999.616	1.044.663	1.272.964
Gastos de operación (X1)	75.613	75.870	77.038	78.601	83.903	81.354	88.250
Activos fijos (X2)	25.660	39.305	39.102	40.290	42.357	43.255	70.360
grupo diners club	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Ingresos (Y1)	334.984	322.936	325.690	407.944	482.269	439.044	465.132
Cartera de créditos (Y2)	1.134.751	1.159.531	1.326.890	1.727.709	1.932.943	1.753.134	1.836.226
Gastos de operación (X1)	139.019	145.902	158.392	182.781	198.713	176.896	191.747
Activos fijos (X2)	9.794	8.939	14.363	15.406	15.428	10.761	9.629
grupo pacífico	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Ingresos (Y1)	484.916	524.420	567.765	646.990	733.805	698.069	746.402
Cartera de créditos (Y2)	2.646.141	2.727.446	3.311.240	3.713.577	4.089.085	4.075.300	4.032.839
Gastos de operación (X1)	212.801	226.446	245.691	259.522	296.613	278.848	293.201
Activos fijos (X2)	100.890	126.558	127.235	136.065	147.611	147.432	157.260
grupo pichincha	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Ingresos (Y1)	1.652.715	1.328.601	1.422.467	1.553.846	1.586.737	1.518.589	1.682.209
Cartera de créditos (Y2)	8.031.982	7.241.157	7.574.492	7.722.155	8.574.094	8.289.337	9.970.250
Gastos de operación (X1)	811.876	662.757	697.276	711.033	780.074	700.040	750.174
Activos fijos (X2)	254.196	222.318	269.885	249.685	245.896	265.975	287.100
grupo produbanco	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Ingresos (Y1)	328.817	344.134	364.726	444.089	523.654	501.923	570.432
Cartera de créditos (Y2)	1.892.373	2.101.280	2.514.110	2.992.169	3.296.575	3.269.516	3.780.483
Gastos de operación (X1)	180.275	166.054	180.032	208.575	231.184	214.188	241.510
Activos fijos (X2)	24.999	60.872	59.819	59.116	73.614	69.298	87.111

Fuente. [24].



REVISTA INGENIO

Prácticas Organizacionales Generadoras de Sobrecarga Laboral en el Personal Administrativo de un Hospital Público y Prevalencia de Síntomas de *Burnout*

Organizational Practices Generating Work Overload in the Administrative Staff of a Public Hospital and Prevalence of Burnout Symptoms

Lisette Yanela Haro Flores | [iD](#) Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador

Gloria Helena Villalobos Fajardo | [iD](#) Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador

ARTICLE HISTORY

Received: 26/8/2022

Accepted: 7/11/2022

KEY WORDS

Psychosocial risk, work overload, burnout, administrative staff.

PALABRAS CLAVE

Riesgo psicosocial, sobrecarga laboral, burnout, personal administrativo.

ABSTRACT

In this article, the objective is to identify the organizational practices that affect the work overload of the administrative staff of a public hospital and the prevalence of Burnout Symptoms. Methods. The design is mixed (quali-quantitative), the sample was made up of nine administrative professionals from a public health house; For data collection, a semi-structured interview was used to identify the conditions that generated work overload and, through the application of the Maslach questionnaire, the prevalence of Burnout Syndrome was determined. Results. We worked with all collaborators in the administrative area with prior authorization. Given the shortage of personnel, several health professionals perform administrative activities. Administrative assignments predominate in personnel who do not have job stability. It was found that there is a tendency to suffer from Burnout Syndrome in the total population studied. Conclusion. Organizational and administrative weaknesses that generate work overload with a tendency to develop Burnout Syndrome were evidenced. The additional tasks directly affect the fulfillment of activities and limit the effective response in their work. This information revealed shortcomings in the prevention of psychosocial factors. The various requirements made by the higher level require working at a high pace during the day, even outside normal hours.

RESUMEN

El objetivo del presente artículo es identificar las prácticas organizacionales que inciden en la sobrecarga laboral del personal administrativo de un hospital público y la prevalencia de síntomas de burnout. Métodos. El diseño es mixto (cuali-cuantitativo), la muestra estuvo conformada por nueve profesionales administrativos de una casa de salud pública; para la recolección de datos se utilizó una entrevista semiestructurada con la cual se identificaron las condiciones generadoras de sobrecarga laboral y mediante la aplicación del cuestionario de Maslach se determinó la prevalencia del síndrome de burnout. Resultados. Se trabajó con todos los colaboradores del área administrativa previa autorización. Ante el déficit de personal, varios profesionales de la salud desempeñan actividades administrativas. Los encargos administrativos predominan en personal que no posee estabilidad laboral. Se encontró que existe tendencia a padecer del síndrome de burnout en el total de la población estudiada. Conclusión. Se evidenciaron debilidades organizacionales y administrativas que generan sobrecarga laboral con tendencia a desarrollar el síndrome de burnout. Las tareas adicionales inciden directamente en el cumplimiento de actividades y limitan la respuesta efectiva en sus labores. Esta información dejó ver falencias en la prevención de factores psicosociales. Los diversos requerimientos realizados por el nivel superior demandan trabajar a un alto ritmo durante la jornada incluso fuera del horario habitual.

I. INTRODUCCIÓN

Para [1], la palabra síndrome define un conjunto de síntomas que se asocian a una enfermedad que podría ser un cuadro patológico determinado y provocado por la presencia de más de una enfermedad.

En este sentido, el síndrome de burnout es una condición de estrés que se manifiesta por la presencia de

agotamiento físico y emocional. También se reconoce como un estado de agotamiento emocional, despersonalización y baja realización personal causado por la exposición prolongada al estrés ante exigencias laborales excesivas. Este término del idioma inglés equivale en castellano a «estar quemado». Como concepto surge de

la actividad aeroespacial al momento de la disminución del combustible de una aeronave espacial al generar calentamiento [1].

En el hospital público de segundo nivel de atención de salud de la ciudad de Baeza, Ecuador, se ha identificado agotamiento emocional y sobrecarga laboral en el personal que desempeña actividades administrativas. Según [2], las causas que afectan la salud mental conllevan a ciertas patologías síquicas en los colaboradores del sector salud.

En el estudio realizado por [3], se describen varios factores psicosociales prevalentes del síndrome de burnout y condiciones que generan sobrecarga laboral, situación que se agravó con la aparición de la pandemia del covid-19 en el año 2020, lo cual ha causado burnout, fatiga y alteraciones en la salud.

Según [4], refieren que la sobrecarga laboral puede requerir tratamiento psicológico. El comportamiento de las personas de la institución denota cansancio emocional, desánimo, falta de motivación para ejecutar sus funciones en el área administrativa. La autoridad institucional y el comité multidisciplinario de salud y seguridad ocupacional son los encargados directos de velar por el bienestar y la salud mental de las personas en el ejercicio de sus funciones.

En [5], se destacan algunas causas del burnout, y de cómo evitar el desgaste profesional, en el lugar de trabajo y atribuye que el principal motivo es la sobrecarga laboral, entre otras causas, por lo que se recomienda organizar el tiempo, en ocasiones emitir respuestas de negación, delegar funciones, no ver el perfeccionismo para posteriormente analizar el estado de ánimo propio para mejorar el entorno y ambiente institucional.

En el presente estudio se identifican las prácticas organizacionales que inciden en la sobrecarga laboral del personal administrativo. Es preciso referir que los profesionales que ejecutan labores profesionales omiten algunas funciones debido a la falta de capacitación y empoderamiento en el cargo administrativo [6].

Este desconocimiento puede ocasionar deficientes relaciones interpersonales, estrés, frustración, enojo, apatía, falta de colaboración. Es decir, que se relaciona directamente con el desarrollo del síndrome de burnout. Por lo que se genera agotamiento mental ante el desconocimiento de la definición de rol, y por la falta de acción de talento humano. Las autoridades proceden a encargar administrativamente el desempeño de funciones. Esto implica supervisar y ejecutar procesos administrativos que demandan de tiempo adicional para la entrega.

En consecuencia, el objetivo de la investigación es identificar las prácticas organizacionales que inciden en la sobrecarga laboral del personal administrativo de un hospital público, y la prevalencia de síntomas de burnout.

2. MÉTODO

DISEÑO

Se realiza un estudio de diseño mixto (cuali-cuantitativo), de carácter descriptivo y de corte transversal, ya que se realiza dentro de un tiempo específico.

PARTICIPANTES

La población está compuesta por nueve funcionarios públicos del área administrativa con cargos directivos y técnicos. Los colaboradores manifiestan su consentimiento de participar en la investigación. Son hombres y mujeres que prestan sus servicios de forma activa en el hospital.

INSTRUMENTOS

Para el presente estudio se realizó el levantamiento de información sociodemográfica y laboral mediante una ficha de datos. A continuación, se realizó una entrevista semiestructurada con cuatro preguntas que indagaron sobre la sobrecarga laboral de los participantes. Posteriormente, se utilizó el cuestionario de Maslach, conformado por 22 preguntas, las mismas que evaluaron tres subáreas: agotamiento emocional, despersonalización y falta de realización personal. Para su interpretación se utilizaron escalas de frecuencia de 0 al 6 con el cual se determinaron los índices prevalentes de burnout.

PROCEDIMIENTO

Una vez formulado el planteamiento del problema y concretado el tipo de estudio a realizarse, se solicitó la autorización a la máxima autoridad de la institución para ejecutar el levantamiento de datos e información requerida para la investigación. Luego, se realizó la entrevista individual con el uso de los instrumentos descritos. Después, se aplicó el cuestionario de Maslach. Finalmente se procesaron los datos obtenidos con la finalidad de generar la discusión y presentar la conclusión del caso que guiará la propuesta general de intervención.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de la recolección de datos se realizó la tabulación, que se puede observar en la tabla 1. Aquí, se encuentran los datos sociodemográficos y laborales de la población en estudio, de los cuales se determina que el 55,56% son mujeres y el 44,44% son hombres. Las edades de los participantes están entre 30 y 39 años (55,56%). El 55,56% son directivos del área administrativa. Existe mayor pre-

Tabla 1.*Datos sociodemográficos/laborales*

Descripción	Porcentajes % (N=9)	
	N	%
Sexo		
Hombre	4	44,44
Mujer	5	55,56
Edad		
30 a 39 años	5	55,56
40 a 49 años	2	22,22
50 a 55 años	2	22,22
Área de Trabajo Administrativa		
Técnicos	4	44,44
Directivos	5	55,56
Tiempo que labora en la institución		
Menos de 5 años	2	22,22
De 6 a 10 años	5	55,56
De 11 a 16 años	1	11,11
Más de 17 años	1	11,11
Modalidad laboral		%
Contratos ocasionales	2	22,22
Nombramiento provisional	4	44,44
Nombramiento permanente	3	33,33

dominancia en los rangos de 6 a 10 años de antigüedad, que corresponde al 55,56%. En tanto que en la modalidad laboral el porcentaje es del 44,44%, correspondiente al personal que se encuentra bajo modalidad de nombramientos provisionales y no cuentan con estabilidad laboral (ver Tabla 1).

PRÁCTICAS ORGANIZACIONALES GENERADORAS DE SOBRECARGA LABORAL

Los participantes del estudio refirieron como una de las causas principales de la sobrecarga laboral la asignación de tareas administrativas adicionales a las labores asistenciales de la institución de salud, lo cual incide en el aumento de carga de trabajo.

En materia de la organización del tiempo de trabajo manifestaron que el requerimiento de informes en cortos plazos es una situación que limita las posibilidades de tomar pausas durante la jornada laboral, lo que incide en la necesidad de trabajar a un alto ritmo durante la jornada. Pese a que el horario de trabajo es de lunes a viernes con una duración de ocho horas diarias, las personas refirieron la necesidad de alargar su jornada para atender la carga de trabajo asignado.

Finalmente, otra de las causas de la sobrecarga laboral es la carencia o falta de competencias para realizar las labores administrativas, dado que la formación de los colaboradores se centra en carreras propias de la salud y no en labores administrativas, de allí la importancia de cerrar las brechas a través de procesos de formación y redistribución de cargas de trabajo.

HALLAZGOS PRINCIPALES

La información recolectada acerca de los factores organizacionales que inciden en la sobrecarga laboral se analizó y se categorizó en tres variables que guardan relación con la definición del rol, organización del tiempo de trabajo, horario de trabajo y competencias de los colaboradores para desarrollar el trabajo.

PREVALENCIA DE SÍNTOMAS DE BURNOUT

El análisis de la muestra indica que el 55,56% presenta niveles altos de síndrome de burnout con una prevalencia en el agotamiento emocional. En la variable de falta de realización personal se evidencia un 44,44%, en tanto que en despersonalización se obtuvo el 11,11%.

Tabla 2.*Resultados de prevalencia de burnout*

	Bajo		Moderado		Alto	
	N	%	N	%	N	%
Agotamiento emocional	2	22,22	2	22,22	5	55,56
Despersonalización	7	77,78	1	11,11	1	11,11
Falta de realización personal	2	22,22	3	33,33	4	44,44

De acuerdo con los resultados obtenidos, se evidencia que existe una prevalencia importante de agotamiento emocional en los colaboradores directivos. En tanto que la falta de realización personal está presente en mayor prevalencia en el personal técnico. Finalmente, en lo que respecta a la despersonalización la mayor prevalencia se presenta en el personal técnico (ver Tabla 2).

Se verificó que existe falta de personal, por lo que colaboradores del área operativa deben cumplir con funciones adicionales en el área administrativa. Esto deja desprovistas las áreas de salud, además de alargar la jornada laboral de los colaboradores. Se evidencia la ambigüedad de roles en el personal médico. Esto conlleva a indicar que el personal de salud no ha sido capacitado en la ejecución de procesos administrativos, lo que dificulta cumplir satisfactoriamente con los requerimientos de los superiores [7].

Con base en los resultados de la aplicación del cuestionario de Maslach todos los colaboradores refieren padecer de los tres componentes del síndrome de burnout, en diferentes escalas. Lo descrito deja ver que la afectación del síndrome no es una condición exclusiva del tipo de cargo que el colaborador desempeña, ni la edad, ni el sexo, ni tampoco el tiempo de servicio o modalidad laboral [8].

Para [9], el síndrome de burnout no es reconocido como una afección para la salud. Si bien es cierto, afecta a la calidad de vida de los individuos por las consecuencias que generan para el entorno laboral en el que se desempeña el colaborador. Según [10], el síndrome de burnout puede causar síntomas de carácter psicológico con consecuencias leves y graves que afectan el desempeño de los colaboradores.

En este estudio se ha encontrado que hasta un 55,56% de la muestra posee niveles altos de burnout resultante de elevados niveles de agotamiento emocional, seguidamente la baja realización personal y, por último, la despersonalización.

Ahora bien, para [11], no por llevar más tiempo trabajando en una unidad de salud el personal siente un incremento en la realización personal, se presenta una escasa percepción de logros personales con un aumento en la afección de burnout. Lo mencionado, corrobora los resultados obtenidos, que para el presente estudio es del 44,44% de colaboradores que indican una falta de

realización personal, esto se evidencia en funcionarios con una trayectoria de más de 6 años.

De acuerdo con [12], las consecuencias del síndrome de burnout traen consigo riesgos de sufrir varias afecciones y trastornos mentales. Los colaboradores del área administrativa son propensos a padecer de este tipo de patologías al estar expuestos a una sobrecarga laboral con prevalencia de agotamiento emocional.

4. CONCLUSIONES

En conclusión, la prevalencia del síndrome de burnout ha sido el principal objeto de debate. Los resultados destacados muestran que se trata de un complejo constructo que depende de multitud de variables y, por tanto, los niveles de agotamiento emocional dependen directamente de cómo nos aproximemos o reflejemos en esta variable.

Por otra parte, la relación directa encontrada entre agotamiento emocional y la sobrecarga laboral indican que se trata de un dato relevante para tener en cuenta en el diseño preventivo general de salud laboral.

Finalmente, el presente estudio demuestra limitaciones al no diferenciar con mayor detalle la relación entre causas y efectos de la sobrecarga laboral. Los estados de ánimo influyen significativamente en el desempeño, por lo que se debería impulsar espacios motivacionales que contrarresten los efectos del síndrome de burnout. Este forma parte de una realidad que aqueja a la capacidad de los colaboradores en todas las modalidades laborales y de manera especial en los niveles directivos del Hospital Básico Baeza. Esta realidad se ha agravado a partir de la actual pandemia que vive el mundo.

REFERENCIAS

- [1] P. A. Flores Ocampo y R. F. Mafaldo Fernández, *Prevalencia del síndrome de burnout durante período de pandemia en el ámbito laboral de cirujanos dentistas, Lima 2022*, Tesis de cirujano dentista, Universidad Roosevelt, 2022.

- [2] A. Vilaret y S. Urgiles, *Síndrome de burnout en el personal de salud que trabaja en la unidad de terapia intensiva durante la pandemia covid-19 en un hospital de Quito*, Repositorio UISEK, 2020.
- [3] A. Lozano Vargas, «El síndrome de burnout en los profesionales de la salud en la pandemia por la covid-19», *Revista de Neuropsiquiatría*, 2021, pp. 1-2.
- [4] M. F. Vinueza Veloz, E. C. Tapia Veloz, C. M. Mera Segovia, N. R. Aldaz Pachacama y A. F. Vinueza Veloz, «Síndrome de burnout en personal sanitario ecuatoriano durante la pandemia de la covid-19», *Infomed*, 2021, p. 1.
- [5] HBR Press, «Cómo superar el burnout», México: Reverte S. A, 2021.
- [6] G. Blanco Gómez y L. Feldman, *Factores psicosociales laborales y sus efectos. Haciendo visible lo invisible. Experiencias en Venezuela*, Araca editores, 2017.
- [7] Ministerio de Salud, «Lineamientos para la planificación de talento humano 2022», Quito, 2022.
- [8] D. Patiño Hernández y S. Rubio Valdheita, «Prevalencia del síndrome de burnout en médicos residentes venezolanos y su relación con el contexto de crisis Sanitaria en Venezuela», *BVS*, 2021, p. 2.
- [9] L. S. Morales y L. F. Hidalgo Murillo, «Síndrome de burnout», *Medicina Legal de Costa Rica*, vol. 32, n.º 1, 2015, p. 1.
- [10] J. E. Vergara Robalito y M. V. Moreno Rueda, «Síndrome de burnout en el personal médico del Hospital General Riobamba (IESS) que laboró en la pandemia por covid-19», *Dialnet*, pp. 848-868, 2021.
- [11] M. P. Briones Miranda, *Diagnóstico en personal administrativo que trabaja en una red de salud oncológica en cuanto a actitudes hacia la muerte y burnout*, tesis de magíster, Universidad Católica de Chile, 2019. [En línea]. Available: <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/26965>
- [12] G. A. Gutiérrez Aceves, M. Á. Celis López, S. Moreno Jiménez, F. Farías Serratos y J. d. J. Suárez Campos, «Síndrome de burnout», *Archivos de Neurociencia*, 2006, pp. 305-309.



REVISTA INGENIO

Ecodiseño de Envases y Empaques como Estrategia para la Disminución de Impactos Ambientales Negativos

Packaging Ecodesign as a Strategy for Reducing Negative Environmental Impacts

Lisa María Gutiérrez Rodríguez | Universidad de La Salle, Bogota, Colombia

ARTICLE HISTORY

Received: 27/10/2022
Accepted: 18/11/2022

KEY WORDS

Ecodesign, circular economy, environmental management, impacts.

PALABRAS CLAVE

Ecodiseño, economía circular, gestión ambiental, impactos.

ABSTRACT

The research aims to propose alternatives for environmental management of post-consumer packaging as an important ecodesign element established in Resolution 1407 of 2018 of the Colombian Environment and Sustainable Development Ministry, therefore, through a diagnostic phase about packaging the ecodesign criteria were selected that allowed formulating alternatives to the current scenario, these alternatives were evaluated by the application of the key performance indicators. The assessment was carried out using SimaPro software, it indicates the incidence of the alternatives in damage and impact categories, where Pesquera Mar Adentro has a lower impact percentage if they replace its current packaging with a ThermoBox, and Compañía Pesquera del Mar S. A. S has significantly reduced its negative environmental impacts by using oxo-biodegradable point-of-payment bags.

RESUMEN

La investigación tiene como objetivo plantear alternativas de gestión ambiental de envases y empaques posconsumo como aspecto clave del ecodiseño establecido en la Resolución 1407 de 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República de Colombia, por lo que, mediante una fase diagnóstica sobre los envases y empaques se seleccionaron criterios de ecodiseño que permitieron formular alternativas al escenario actual, dichas alternativas se evaluaron por medio de una herramienta informática y la aplicación de indicadores de rendimiento clave. La valoración se ejecutó en el software SimaPro, que indica la incidencia de las alternativas en categorías de daño e impactos. La empresa Pesquera Mar Adentro tiene un menor porcentaje de impacto si sustituye su empaque actual por una caja thermobox y Compañía Pesquera del Mar S. A. S, ha disminuido significativamente los impactos negativos al ambiente con el uso de bolsas de punto de pago oxobiodegradables.

I. INTRODUCCIÓN

Los envases y empaques de productos generan impactos negativos al ambiente desde su fabricación hasta su disposición final, en principio el impacto está asociado al material utilizado para su producción y la cantidad de dicho material, influyendo así en el consumo de recursos fósiles, uso de energía primaria y emisiones de dióxido de carbono (CO₂), igualmente, su condición de artículo de un solo uso lo convierte en un residuo, en lugar de un producto para ser reciclado o reutilizado [1]. Del mismo modo, los envases y empaques son uno de los residuos sólidos que se generan en Colombia con mayor representatividad debido a que constituyen entre el 15-25%

de los residuos sólidos urbanos del país, donde más del 60% de la demanda global de empaques se concentra en el sector de alimentos (38%), bebidas (18%), cosméticos (3%) y farmacéuticos (5%) como lo señala [2], lo anterior como consecuencia de su naturaleza, ciclo de vida y dinámica de consumo de la población. Es por lo anterior que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República de Colombia emite la Resolución 1407 de 2018, [3] la cual señala que se debe formular, implementar, actualizar y presentar el Plan de Gestión Ambiental de Residuos de Envases y Empaques a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) el cual está

enfocado en el aprovechamiento de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio y metal, con el fin de disminuir y mitigar los impactos ambientales generados por el residuo posconsumo, las materias primas que se emplean, su proceso productivo y la energía utilizada, lo cual indica la necesidad de actuar no solo en la segregación y reutilización de este tipo de residuos, sino actuar desde el inicio de la producción mediante la incorporación de alternativas que prevengan y minimicen la fabricación y toxicidad de los residuos en los nuevos envases, empaques y embalajes o en el rediseño de los actuales [1]. Adicionalmente, en el apartado i del artículo 6 de la Resolución en cuestión, señala la obligatoriedad de invertir en la investigación aplicada y el desarrollo experimental para la innovación y el ecodiseño, siendo este un tema fundamental en la formulación de alternativas a los envases y empaques que generan efectos nocivos y como una oportunidad de transición hacia la economía circular, por lo que, la empresa Green Economy Services Colombia, a través de este artículo, tiene como objetivo diseñar y formular estrategias de ecodiseño a dos de sus adheridos: Pesquera Mar Adentro y Compañía Pesquera del Mar S. A. S, con el propósito de disminuir los impactos ambientales actualmente generados.

Según la guía de ecodiseño de envases y embalajes, [4] el ecodiseño de envases consiste en un proceso técnico, creativo y multidisciplinar que tiene como propósito mostrar en el mercado envases factibles, técnicamente industrializables, financieramente rentables y sostenibles, lo que conlleva a la aplicación de herramientas y métodos para gestionar eficientemente los recursos asignados al envase, obteniendo beneficios para el medio ambiente, como la reducción del consumo de materiales, agua, energía, vertimientos y residuos. En lo que se refiere a las empresas, manejar este instrumento significa ventajas competitivas que mejorarán su gestión, procedimientos, productos, recursos, imagen e inversiones; asimismo, fomenta un proceso de mejora continua por el desarrollo e incorporación de innovaciones o modificaciones en el ciclo de vida de los productos, mediante el uso de estrategias a mediano y largo plazo que influyen en todos los niveles de decisión y operación [5]. Ahora bien, el ciclo de vida de un producto considera las etapas del bien o servicio desde que son extraídas las materias primas para su fabricación, producción, distribución, consumo y gestión del residuo que se genera, [6] de manera que la aplicación del ecodiseño ha de tener en cuenta este concepto, ya que de ello dependerá la selección de estrategias, valorando si la solución no afecta de forma negativa el balance total de consumo de recursos y generación de emisiones o vertimientos. Por lo tanto, se tiene presente el concepto de economía circular debido a que uno de los objetivos

del ecodiseño de envases y empaques es cerrar ciclos, revalorizando los residuos de estos productos a través del reciclaje, reutilización o compostaje [4].

De manera que, como muestra [4] la selección de estrategias de ecodiseño, podrá formularse con base en las etapas de ciclo de vida de los productos según las exigencias del consumidor, los requisitos de la distribución, normativa vigente, la función del envase y los nuevos materiales empleados en los envases y empaques, las cuales se clasifican en:

- Estrategias para un diseño de envase eficiente
- Estrategias para la selección de materias primas sostenibles
- Estrategias para una fabricación y envasado optimizado
- Estrategias para una logística eficiente
- Estrategias para optimizar el reciclaje de envases

Las empresas interesadas en el ecodiseño de sus envases y empaques son Pesquera Mar Adentro, una empresa que compra, procesa, transforma y comercializa productos del mar quien solicitó el ecodiseño de su envase y empaque del producto de carne de jaiba pasteurizada a Green Economy Services Colombia, el empaque consta de una lata de aluminio y hojalata como envase primario, el envase secundario son dos cajas de cartón que almacenan doce latas del producto, cada una con laminillas de poliestireno expandido en las paredes y fondo de las cajas, y el envase terciario consta de una caja de cartón que contiene la dos cajas del envase secundario, otras laminillas de poliestireno expandido y bolsas de boli y ziploc con gelpack para la refrigeración del producto. Así pues, es de interés considerar dos de los materiales allí presentes, el cartón que es uno de los materiales con menor impacto ambiental ya que su proceso de fabricación corresponde a una reducción del 60% de las emisiones de CO₂ y petróleo respecto a otros materiales, se degrada rápidamente por su contenido de celulosa y la exposición a condiciones meteorológicas favorables influye positivamente en su eliminación, se trata de un material que no pierde durabilidad ni resistencia, lo que conlleva a la reutilización y reciclaje, esto último debido a que al reciclarlo se emplea 90% menos de agua y 50% menos de energía eléctrica, como lo indica [7]. El otro material es el poliestireno expandido que, a pesar de cumplir con la función de refrigeración, constituye un problema en la etapa de disposición final. De hecho, a partir de las cifras halladas por [8], en Colombia se utilizan aproximadamente 80.000 toneladas al año de poliestireno expandido, de las cuales 38% son utilizadas para empaque, y al final de su vida útil tan solo 500 toneladas son recuperadas. Así mismo, el poliestireno expandido se compone

principalmente por aire y partículas de petróleo que se calientan y se expanden, por lo que es bastante liviano y muy voluminoso, por ello, el espacio que ocupa es un inconveniente para el sistema de residuos, debido a que el material llena los vehículos recolectores y los rellenos sanitarios, además de que tarda más de mil años en biodegradarse [9].

La segunda empresa es Compañía Pesquera del Mar S. A. S, empresa pionera en la compra, proceso, comercialización y distribución de pescados, mariscos y productos alimenticios congelados como tubérculos, verduras y carnes que en el año 2022 sustituyó las bolsas de punto de pago de polietileno de alta densidad por bolsas oxobiodegradables. Estas consisten en bolsas con aditivos que consiguen romper la estructura química del plástico permitiendo su degradación cuando están expuestos a la luz solar, el calor o el esfuerzo mecánico (fricción y exposición a vientos), alcanzando un tamaño mínimo para que los microorganismos tomen dicho material y lo conviertan en dióxido de carbono, agua y biomasa. Según las características mencionadas por el proveedor de la Compañía Pesquera del Mar S. A. S, [10] dicho empaque tiene una vida útil controlada, su apariencia, resistencia y calidad es igual a la de una bolsa de plástico común fabricada en polietileno de baja y alta densidad y cuenta con dos etapas para su degradación. En principio, la bolsa oxobiodegradable comienza a fragmentarse por el contacto con el oxígeno, a partir de ello hay una atracción de agua que da origen a un ambiente en presencia de oxígeno y humedad que fomenta el desarrollo y crecimiento de microorganismos naturales para después comenzar la etapa de biodegradación, allí las moléculas de los materiales oxidados son lo suficientemente pequeñas para que los microorganismos los tomen como alimento y los degraden. Así pues, la vida útil de estas bolsas oscila entre los 8-12 meses, según las condiciones del ambiente en que se encuentre, sin contaminar los recursos naturales o alterar la salud del ser humano.

Se denominan polímeros oxobiodegradables ya que contienen aditivos prooxidantes o prodegradantes, que constituyen del 1 al 5% del peso molecular del mismo y se basan en combinaciones de iones metálicos de estabilidad y número de oxidación similares. Su función principal es acelerar la foto y oxidación térmica, de modo que, al ser expuestos a los rayos UV o a altas temperaturas puedan degradarse rápidamente mediante la formación de radicales libres que reaccionan con el oxígeno atmosférico, provocando la ruptura de la cadena polimérica y la producción de compuestos de bajo peso molecular, como ácidos carboxílicos, alcoholes y cetonas que posteriormente podrán ser asimilados por los microorganismo [11].

Ahora bien, en la literatura se encuentran dos términos que pueden llegar a confundirse, los plásticos oxobiodegradables y los plásticos oxodegradables, este último es un material que se degrada a simple vista pero que

permanece en pequeñas partículas en suspensión perjudiciales para la salud de los seres vivos y la dinámica de los ecosistemas [12]. En consecuencia, la Unión Europea [13] ha prohibido la comercialización de productos elaborados con plástico oxodegradable, a través de la Directiva 2019/904 en el artículo 5, ya que ese tipo de plástico no se biodegrada correctamente y contribuye a la contaminación del medio ambiente con microplásticos, no es compostable, afecta negativamente al reciclado del plástico convencional, no ofrece beneficios medioambientales comprobados y su rápida fragmentación en trozos minúsculos es motivo de preocupación. Además, como se visualiza en [14] la fundación Ellen MacArthur, una organización mundial líder en temas de economía circular, apoya la idea de que los envases de plástico oxodegradables no son una solución a la contaminación por plástico y no encajan en una economía circular, por el contrario, contribuyen a la contaminación por microplásticos y fomentan los riesgos ambientales ya que favorecen la bioacumulación en el medio.

2. MÉTODO

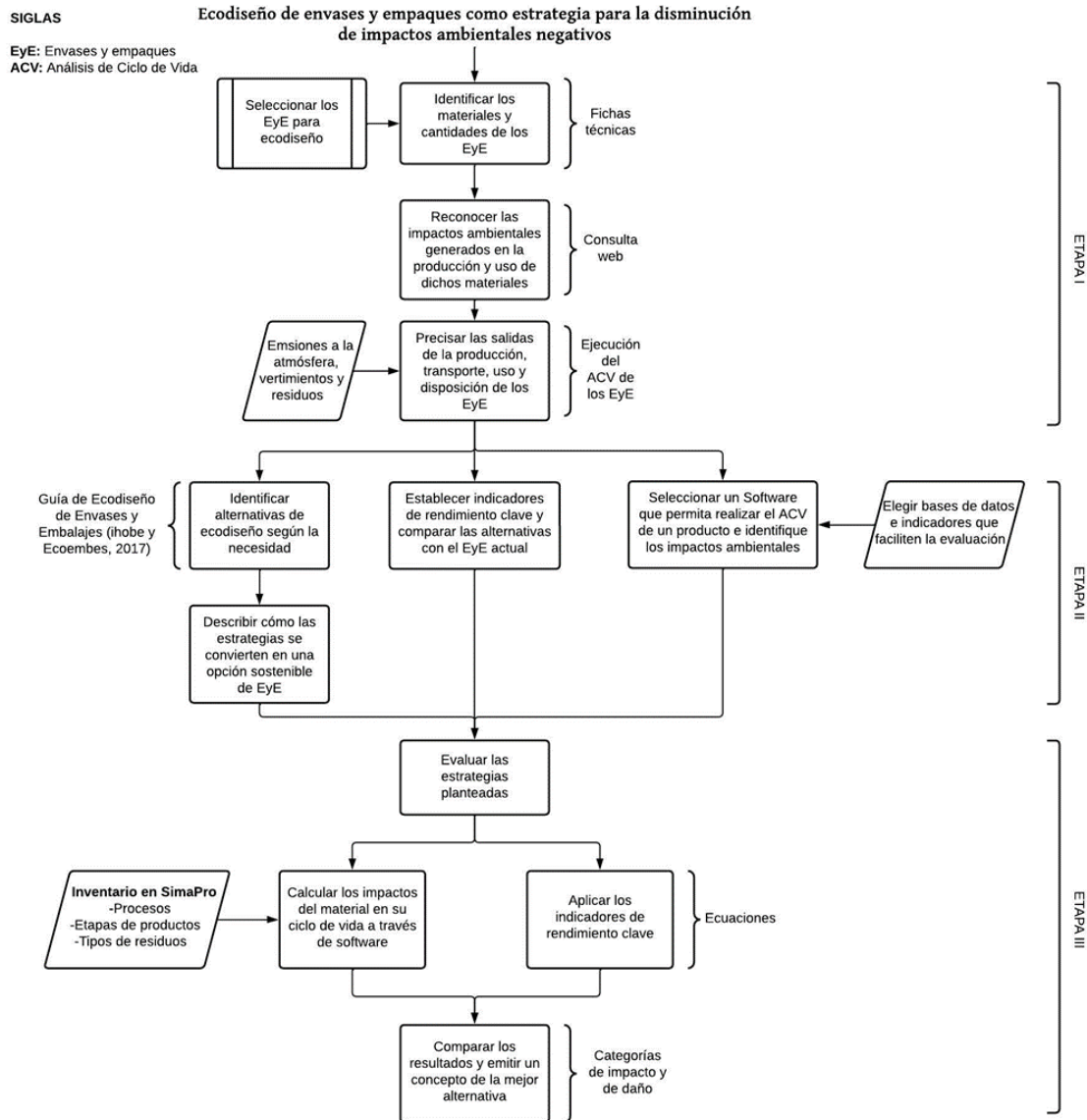
En la figura 1 se evidencia un diagrama de flujo con la metodología necesaria para la formulación de estrategias de ecodiseño. En principio, las empresas Pesquera Mar Adentro y Compañía Pesquera del Mar S. A. S identificaron los envases y empaques cuya intención es aplicar la innovación y el ecodiseño, a partir de ello se analizaron sus fichas técnicas proporcionadas por las empresas interesadas, de las cuales se reconocieron los materiales y la cantidad empleada para producir y distribuir un producto con su envase o empaque, de manera que fue posible determinar los impactos generados al ambiente; reconociendo las emisiones, vertimientos y residuos en diferentes etapas del ciclo de vida del envase y empaque por medio de literatura que estudia los aspectos ambientales, de salud y seguridad en la fabricación de materiales como plástico, metal o cartón (ver Figura 1).

Luego de la etapa de identificación en los envases y empaques de cada empresa se utilizó una técnica de generación de ideas denominada SCAMPER, mostrada en la figura 2, de la que surgen cuestionamientos con el fin de identificar los aspectos de mejora aplicables según el caso. Por consiguiente, el uso de esta herramienta facilita la reflexión sobre cuáles son los procesos en donde puede intervenir ya que se trata de etapas que no son estrictamente necesarias o no aportan valor que podrían ajustarse o potenciar, [4] y en consecuencia seleccionar estrategias definidas en la tipología mencionada anteriormente (ver Figura 2).

Desde otra perspectiva, para el presente estudio se utilizó una herramienta cuantitativa que se denomina indicadores de rendimiento clave (KPI por sus siglas en

Figura 1.

Metodología empleada para el ecodiseño de envases y empaques



Fuente: [7, p. 22].

Figura 2.

Técnica de generación de ideas scamper



Fuente. [4].

inglés *Key Performance Indicator*) con el objetivo de estimar la potencial mejora resultante de aplicar las estrategias de ecodiseño, y su selección depende de la meta que se desee alcanzar, ya sea en la materia prima del envase, la fabricación y envasado, logística, transporte o gestión

final. Es por lo anterior que, para Pesquera Mar Adentro, fueron seleccionados cuatro indicadores de rendimiento clave calculados a partir de la masa en gramos de los materiales involucrados en el empaque:

2.1. % CONTENIDO DE MATERIAL QUE SE PUEDE RECICLAR (CMR):

Se evaluará el aumento o disminución de la presencia de envases y empaques en materiales que tienen el potencial para ser reciclados, por medio de la Eq. 1.

$$\% \text{CMR} = \frac{g \text{ del material reciclado}}{g \text{ total del envase y empaque}} * 100 \quad (1)$$

2.2. RELACIÓN ENTRE EL PESO DEL EMPAQUE Y EL PESO DEL PRODUCTO (REP):

Tiene como objetivo evaluar si el producto de venta requiere de un envase y empaque que supere su propio peso, de esta manera se evalúa si el consumidor recibe mayor cantidad de envases y empaques posconsumo que aquel artículo que sí es de necesidad para un fin específico y no tendrá que hacerse cargo de un número considerable de residuos, como se observa en la Eq. 2.

$$\text{REP} = \frac{g \text{ del empaque}}{g \text{ del producto}} \quad (2)$$

2.3 CANTIDAD DE MATERIAL DE EMPAQUE CON RELACIÓN AL NÚMERO DE ENVASES PRIMARIOS AGRUPADOS (RENE):

El presente indicador se mide mediante la Eq. 3 y busca analizar si el empaque actual justifica la cantidad de envases que se están distribuyendo, debido a que la intención de las empresas es vender un número mayor de productos por una cantidad menor de empaque, pues ello se ve reflejado en costos de producción.

$$\text{RENE} = \frac{g \text{ de empaque}}{\text{número de envases}} \quad (3)$$

2.4. CANTIDAD DE RESIDUOS NO APROVECHABLES DE EMBALAJE GENERADOS (RNA):

Un aspecto importante es determinar la cantidad de residuos no aprovechables que se están generando con los envases y empaques del producto, es así que este indicador corresponde a la suma de la masa de los artículos requeridos para distribuir el producto, como se evidencia en la Eq. 4.

$$\text{RNA} = \sum_n g \text{ de material} \quad (4)$$

Igualmente, para la empresa Compañía Pesquera del Mar S. A. S, se emplearon dos indicadores de rendimiento clave según su envase:

Reciclabilidad:

El objetivo de la medición es determinar la evolución de la reciclabilidad y/o recuperación de materiales de los residuos sólidos, en función de la eficiencia de los sectores productivos y la generación de flujos de materiales hacia el medio ambiente, dada la importancia del impacto ambiental que provoca la disposición final de residuos

y el uso ineficiente de los recursos físicos disponibles para la economía. Este se calculó como la razón entre los residuos que son tratados para ser reintroducidos a los procesos de producción (RR_{jt}) sobre la oferta total de residuos sólidos en un período determinado (RG_{jt}) como se visualiza en la Eq. 5 [15].

$$\text{TR}_{jt} = \frac{\text{RR}_{jt}}{\text{RG}_{jt}} * 100 \quad (5)$$

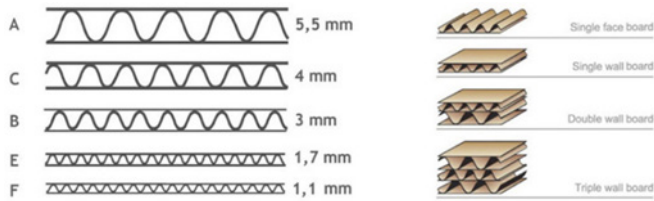
Reutilización del envase:

La reutilización de un envase se refiere a la operación mediante la cual los productos aún no se consideran residuos y se utilizan de nuevo con la misma finalidad para la que fueron diseñados. En ese orden de ideas, se tendrá en cuenta el número de veces que puede ser usada una bolsa plástica convencional y una oxobiodegradable, según condiciones específicas de temperatura, humedad y luz.

Por último, con el fin de evaluar los impactos al ambiente generados por la utilización de los envases y empaques actuales en comparación con las estrategias sugeridas, se requiere el manejo de una herramienta informática para el análisis del ciclo de vida, por lo que se tuvo en cuenta las bases de datos disponibles, la forma en que el software importa los datos, el uso de métodos de evaluación de datos, la capacidad del entorno gráfico y la facilidad del uso de la herramienta, eligiendo así una herramienta informática que maneje una base de datos con información sobre los materiales del empaquetado (aluminio, vidrio, plásticos, papel, cartón, cartulina y hojalata), los procesos de producción, distribución y formas de disposición final del producto [16]. En este orden de ideas, fue elegido el software SimaPro, el cual es un sistema de aprendizaje permanente, integral e incluyente en las organizaciones, con el propósito de mejorar la eficiencia, la calidad y las condiciones de trabajo en las organizaciones que se caracteriza por fomentar la mejora continua de los productos mostrando el proceso de estos como un ciclo de evaluación constante e incluyente ya que favorece la participación de profesionales de diversas áreas [17]. En consecuencia, el procedimiento consistió en seleccionar la biblioteca Ecoinvent 3-consequential-unit que contiene datos del análisis de ciclo de vida de diversos sectores y facilita señalar las modificaciones realizadas ya sea durante el proceso de extracción, ensamblaje, transporte, uso o disposición final o en los materiales empleados; asimismo, posibilita la visualización de cada proceso como unidad y no todo el sistema que reúne dichos procesos [18].

Finalmente, en la fase de evaluación de los impactos se empleó el método de evaluación Ecoindicador 99, el cual es un indicador numérico que expresa el impacto ambiental total de un proceso, cuanto más grande sea el valor mayor será el impacto ambiental y se calcula mediante la introducción de coeficientes de ponderación en el análisis de ciclo de vida en cada etapa del producto y los

Figura 3.
Calibre del cartón



Fuente. [20].

materiales involucrados [19]. Para este estudio se tuvo el enfoque (I) que significa individualista y muestra los intereses a corto plazo, es así que los impactos que se obtienen resultan de las actividades inmediatamente anteriores y que se evidenciará en tres categorías de daño; en principio la salud humana mostrada como años de vida perdidos por discapacidad, donde el software hace una ponderación de las discapacidades causadas por varias enfermedades, el efecto sobre la calidad de los ecosistemas medido en función de la desaparición de especies de flora y fauna y en los recursos que se entiende a través de los requerimientos de energía para la extracción de materias primas. Desde otro punto de vista, por medio del software se pueden interpretar los impactos en diez categorías; sustancias cancerígenas, enfermedades respiratorias por compuestos orgánicos e inorgánicos, cambio climático, radiación, capa de ozono, ecotoxicidad, acidificación/eutrofización, uso del suelo y minerales, de los cuales se puede entender como un impacto de mayor magnitud a medida que el valor se acerca a 100.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En ese sentido, los resultados para la empresa Pesquera Mar Adentro comprende dos alternativas para las que se tuvo presente la sustitución de laminillas de poliestireno expandido y mantener la refrigeración de la carne de jaiba pasteurizada entre 0-4 °C, por lo que las estrategias sugeridas a la empresa son:

Alternativa 1: Desmaterialización del envase y/o embalaje

Consiste en la eliminación de las dos cajas de doce latas para empacar directamente 24 latas de carne de jaiba pasteurizada en un solo empaque, así se eliminarían elementos excesivos que a pesar de proteger la integridad del producto puede sustituirse por cajas de cartón ondulado de mayor calibre, esto debido a que está compuesta por varias capas de papel (lisas y onduladas) que

Figura 4.
ThermoBox



Fuente. [21].

determinan el grosor, de manera que un mayor grosor garantiza mejor resistencia y, por ende, se adaptaría mejor a la necesidad de la mercancía. En este caso se podría considerar la transición a un cartón de canal A como se muestra en la figura 3, que hace referencia a un grosor de 5 mm siendo favorable para productos frágiles que requieren buena amortiguación y protección durante el transporte (ver Figura 3).

Alternativa 2: Emplear materias primas de menor impacto ambiental - thermobox

Consiste en eliminar el uso de poliestireno expandido en el embalaje, sin embargo, se debe garantizar un material que ayude en la preservación de la temperatura a la cual se debe encontrar el alimento, de esta forma se pueden reemplazar las cajas de cartón convencionales por cajas thermobox, que pueden apreciarse en la figura 4. Consiste en una caja fabricada por una combinación 100% de papel de hexacomb y corrugado, lo que significa que está hecha de un recurso renovable, reciclable y biodegradable que proporciona propiedades térmicas similares a las que brinda el poliestireno expandido (EPS) en el control de temperatura para productos que requieren congelación o refrigeración. Adicionalmente, si Pesquera Mar Adentro no considera la opción anteriormente expuesta puede visualizar la posibilidad de comprar láminas gruesas de cartón de aproximadamente 15 mm, para introducir las en la caja de cartón convencional, ello permitirá reforzar el empaque y preservar la temperatura de refrigeración sin humedecer o dañar el exterior de la caja (ver Figura 4).

Luego de calcular el valor de los indicadores de rendimiento clave de las Eqs. 1 a 4 para las dos alternativas los resultados se encuentran en la tabla 1, donde las columnas tituladas %₁ y %₂ corresponden al porcentaje de cambio de las alternativas con respecto al empaque actual (ver Tabla 1).

Es así que, analizando el porcentaje de cambio de las alternativas con respecto a las características del envase

Tabla 1.*Indicadores de rendimiento clave para las estrategias de Pesquera Mar Adentro*

KPi	Und	Act	Alt. 1	% ₁	Alt. 2	% ₂
CMR	%	84,44	77,39	-8%	100	+18%
REP	Unds	0,16	0,11	-31%	0,10	-38%
RENE	g/lata	70,98	48,85	-31%	48,14	-32%
RNA	g	265	265	0%	0	-100%

y empaque actual, se espera que exista un aumento en el primer indicador debido a que la intención es incluir materiales que puedan ser reciclados y una disminución en los últimos tres, pues el mejor escenario es que el peso del envase no supere el peso del alimento distribuido, la cantidad de este producto envasado tenga una proporción mínima con respecto a todo el embalaje y que la cantidad de residuos generados que no se puedan aprovechar sea nula ya que el modelo actual de economía se basa en la extracción de materias primas una única vez y retornar al ciclo productivo los materiales empleados. Por ende, para el primer indicador de la tabla 1 se entiende que un porcentaje mayor de material reciclable tendrá un menor impacto ambiental, pues si el 100% del empaque está hecho a partir de materias primas que no son de un solo uso la disposición final de estos empaques no será en un relleno sanitario o similares, por lo que, la alternativa 2 cumple con este principio aumentando en un 18% con respecto a la actualidad.

El cálculo del segundo indicador debe ser menor a 1 ya que las empresas han de distribuir un producto cuyo envase y empaque no supere el peso del producto, lo anterior para facilitar la disposición final de estos y que la responsabilidad compartida de ello no se recargue en el consumidor final, allí se destaca la alternativa 2 que reduce en un 38% dicha relación. Igualmente, para el indicador de cantidad de material de empaque con relación al número de envases evidencia la cantidad de empaques que se utiliza para la distribución de una lata de carne de jaiba pasteurizada y como en el caso anterior tiene que existir una reducción en este indicador, de forma que no se empleen tantos materiales para esta fase y se pueda considerar como una disminución en los costos de compra de los artículos que componen el empaque. Finalmente, la cantidad de residuos generados no aprovechables tiene que ser 0, aun así, es posible visualizar qué material es aquel que constituye un problema dentro del empaque y tanto en el actual como la estrategia 1 el EPS es el único elemento que no puede ser aprovechado por el momento en Colombia.

Por último, para la evaluación de las alternativas se utilizó el software SimaPro, donde se compararon cuatro etapas del ciclo de vida, el transporte de los materiales del empaque reconociendo que no todos son adquiridos en el mismo municipio donde se ubica Pesquera Mar Adentro,

la manufactura de estos, entendida como el ensamblaje de todos los materiales para la distribución donde se tiene en cuenta el tiempo que se tarda en armar las cajas, introducir las láminas, las bolsas con el gel pack y las latas de carne de jaiba pasteurizada, el uso del producto por los clientes y la disposición final de los mismos, sin olvidar que muchos de ellos pueden ser reutilizados, por lo que se asume que realmente se lleva a cabo este proceso.

En la figura 5, se muestran las gráficas de la comparación del empaque actual y la alternativa 1 en las categorías de impacto, de allí visualiza un impacto del 40% en el transporte y manufactura de ambos escenarios ya que se mantienen los mismos materiales en diferentes proporciones, por lo tanto, la diferencia está en el uso y disposición final, este último tiene un impacto del 100% en el empaque actual, lo cual se debe a que el EPS no se recupera para ser aprovechado y por su volumen es difícil de transportar, ahora bien, a pesar de que la alternativa 1 lo conserva el hecho de no emplear dos cajas de cartón adicionales facilita la disposición final de los consumidores ya que ocupan menos espacio y el pago por esta gestión disminuye notablemente, esto se visualiza con un impacto del 40%. Desde otra perspectiva, para la etapa de uso, el impacto varía a lo largo de las categorías de impacto, siendo evidente en las sustancias cancerígenas, enfermedades respiratorias causadas por sustancias inorgánicas que hace referencia a los efectos adversos sobre la salud humana causados por el material particulado y sus precursores (NO_x, SO_x, NH₃) y en la de cambio climático con un porcentaje del 70%, principalmente por el empaque actual, todo ello se ve reflejado debido al transporte que se requiere para que llegue al consumidor final y se incrementa el impacto debido a la refrigeración que se debe cumplir por transportar un alimento perecedero (ver Figura 5).

En adición, la figura 6 permite la visualización del comportamiento de los procesos involucrados a través de tres categorías de daño: salud humana, que equivale a los años de vida perdidos por enfermedades, en este caso asociadas a la producción, transporte, consumo y disposición de materiales del embalaje, calidad de los ecosistemas, como la porción equivalente a la desaparición de especies y los recursos en donde se tiene presente la energía necesaria para la extracción y transformación de los recursos. De forma que se ve un comportamiento similar

Figura 5.

Categorías de impacto en la comparación del empaque actual y la alternativa 1

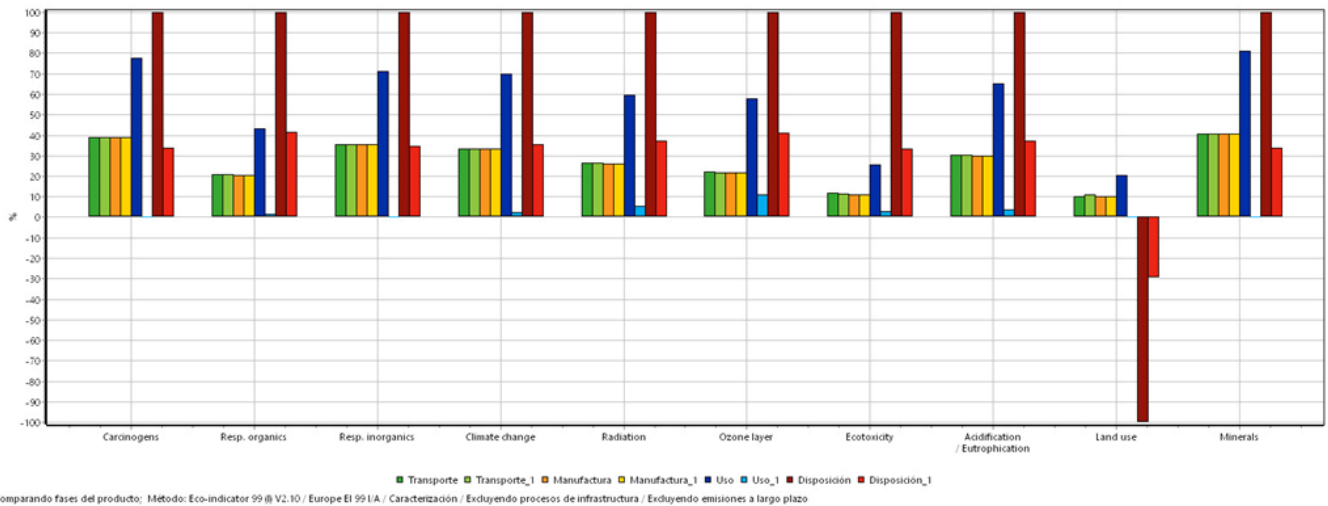
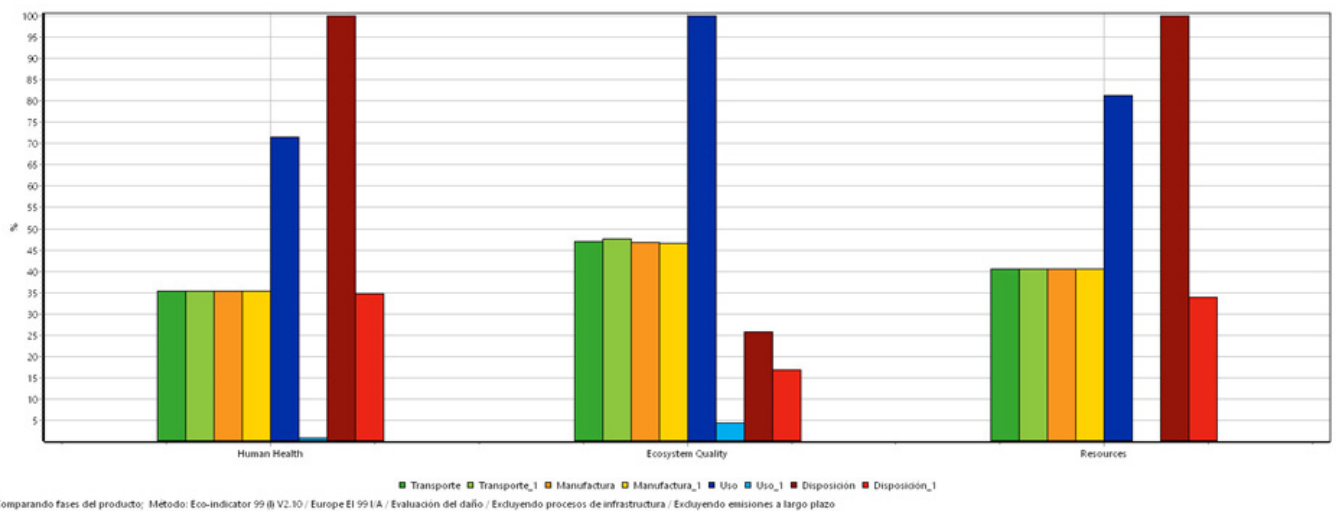


Figura 6.

Categorías de daño en la comparación con el empaque actual y la alternativa 1



al de la figura 5, donde hay grandes impactos en el uso y disposición final de los materiales, como se observa en la salud pública, en el caso de los ecosistemas existe mayor impacto para el uso del empaque ya que, como se mencionó anteriormente, la distribución del producto significa emisiones de contaminantes a la atmósfera y, en el caso de los recursos, se destaca la disminución entre la disposición actual y la de la alternativa 1, puesto que el reciclaje de la mayor parte de los productos repercute positivamente (ver Figura 6).

Desde otro punto de vista, la figura 7 hace referencia a las categorías de impacto para el empaque actual y la alternativa 2, de allí se puede observar que las clasificaciones de sustancias cancerígenas, enfermedades por sustancias inorgánicas y cambio climático para la estrategia de implementación 2, cambia significativamente con respecto a la alternativa 1 ya que no se evidencia mayor impacto, de hecho, en la mayor parte de los impactos identificados el porcentaje es 0. Por otra parte, es claro como en la emisión de los contaminantes orgánicos,

la radiación y las afectaciones a la capa de ozono hay una disminución en la etapa de transporte y manufactura, situación que no se reflejaba en la comparación con la alternativa 1, asimismo, para la presente estrategia los impactos en la disposición final en su mayoría son 0 y en aquellos que sí se ve reflejado solo alcanza un 25% como máximo (ver Figura 7).

Finalmente, en la figura 8 se pueden apreciar las categorías de daño en el cual hay afectaciones mínimas en la salud humana y los recursos, en lo que se refiere a la extracción y transformación de recursos el valor en porcentaje es 0 ya que se está considerando que todos los materiales están siendo reutilizados o reciclados para la fabricación de nuevos materiales con las mismas características. En la categoría de calidad de los ecosistemas se visualizan impactos muy bajos en todo el proceso que lleva el empaque, lo anterior considerando que ya no hay un transporte de EPS desde la empresa proveedora, el tiempo de empaque se reduce ya que la cantidad de materiales involucrados también se reduce y la disposición

Figura 7.

Categorías de impacto en la comparación del empaque actual y la alternativa 2

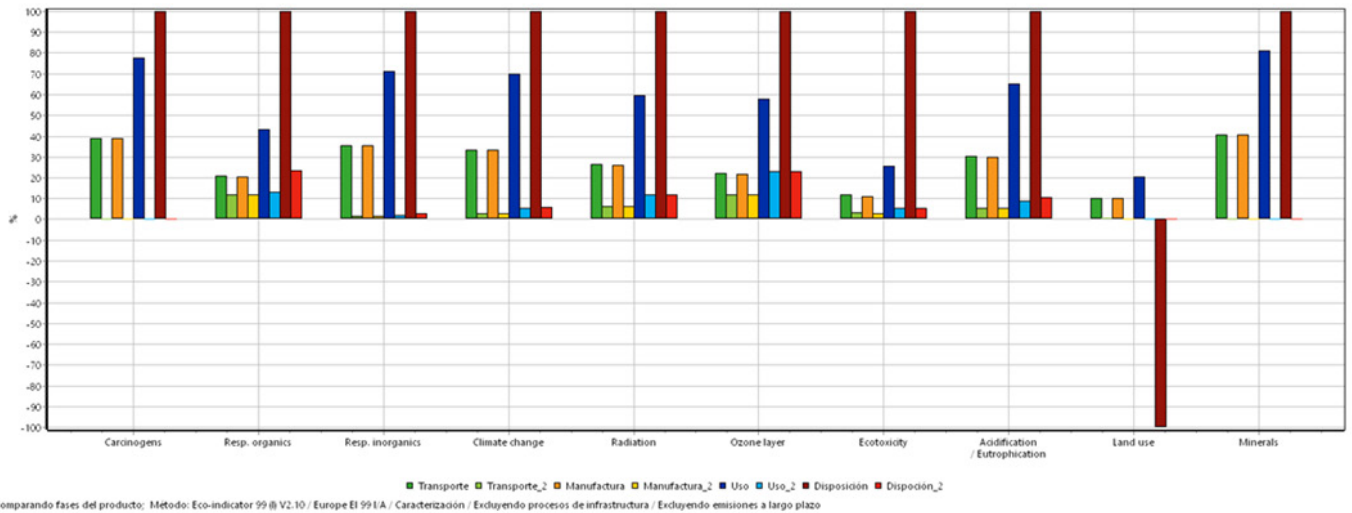
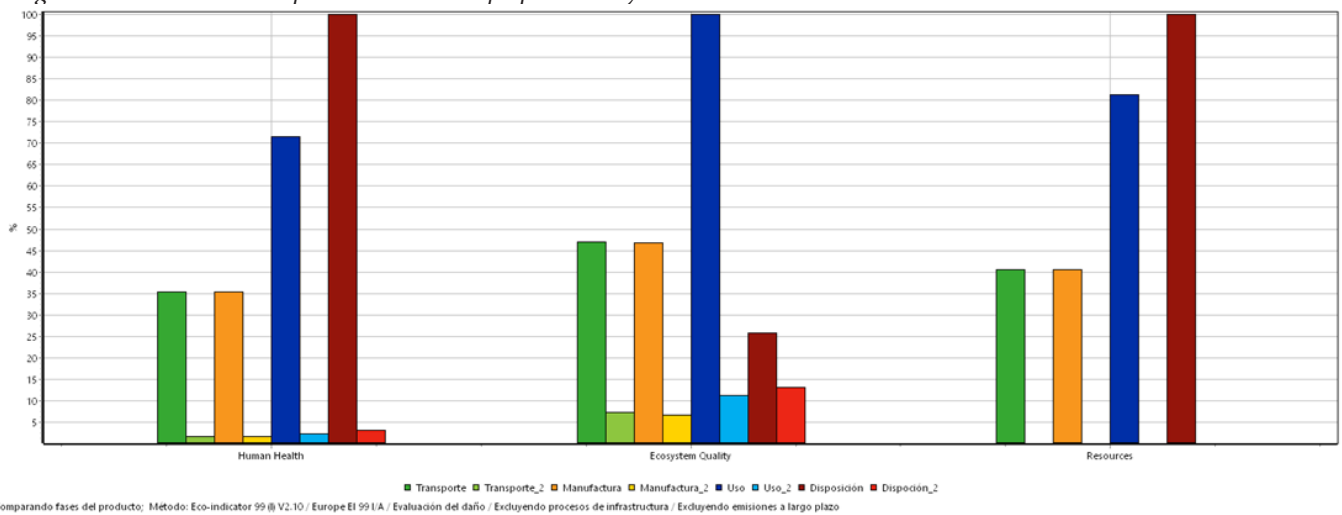


Figura 8.

Categorías de daño en la comparación con el empaque actual y la alternativa 2



final consiste en la separación y aprovechamiento de todos los materiales presentes (ver Figura 8).

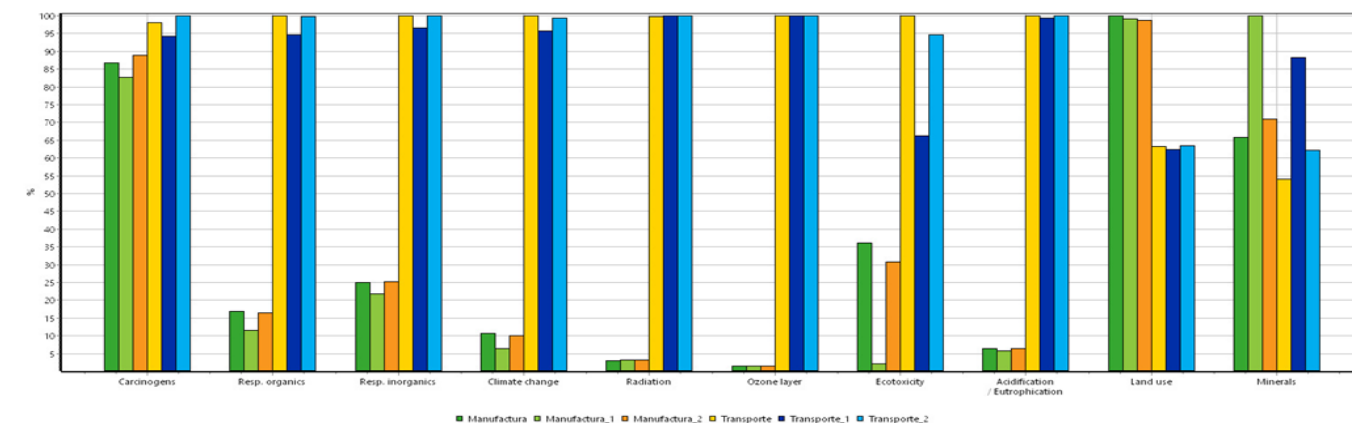
Por otra parte, en la Compañía Pesquera del Mar S. A. S la alternativa de ecodiseño ya fue ejecutada, desde la empresa se emplean bolsas de punto de pago como empaque secundario, dicha solución se puede clasificar dentro de la estrategia de implementación de materias primas de menor impacto ambiental debido a que se trata de la utilización de aditivos en la producción de bolsas oxobiodegradables que aceleran la degradación del material, asimismo, es significativa la disminución de emisiones contaminantes a la atmósfera, ahorro de la electricidad y agua en la producción y menor cantidad de residuos sólidos que son dispuestos en un relleno sanitario. Adicionalmente, es importante tener en cuenta que la degradación de las bolsas oxobiodegradables requiere el cumplimiento de condiciones específicas de luz y temperatura con el fin de fragmentarse en pequeñas partes y posterior metabolización por los mi-

croorganismos, [22] así pues, el uso de bolsas oxobiodegradables se considera una alternativa transitoria cuyo objetivo final será el cambio de pensamiento social al cual la compañía ha venido contribuyendo debido a que cumple con lo establecido en la Resolución 688 de 2016 promoviendo la disminución en el uso de bolsas plásticas por parte de los consumidores mediante el cobro de estas, siendo un hecho preciso para evitar el consumo excesivo de plásticos y previniendo que la población no racionalice la utilización de estos empaques por el corto período de degradación.

A raíz de lo anterior, desde Green Economy Services Colombia se propone continuar la implementación de este tipo de estrategia, con la diferencia de que se puede implementar el uso de bolsas de pago a partir de polietileno de alta densidad reciclado, de esta manera, el impacto ambiental negativo se estaría reduciendo en el consumo de electricidad de fabricación en un 88% y se alcanzaría una reducción de emisiones del 71% como se demuestra

Tabla 2.
Indicadores de rendimiento clave para la estrategia de Compañía Pesquera del Mar S. A. S

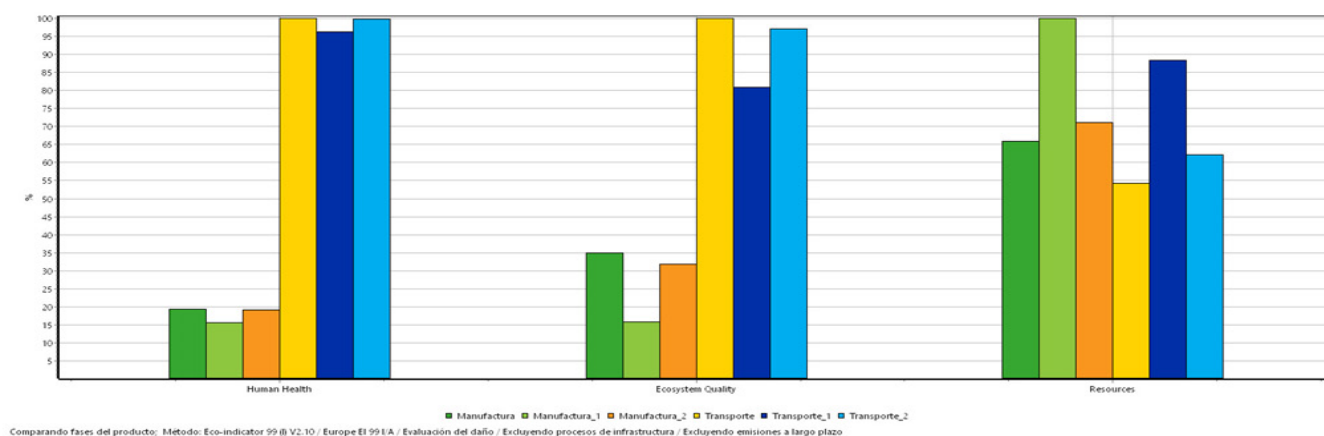
KPI	Und	Bolsas de PEAD	Bolsas Oxobiodegradables	%
Reciclabilidad de los materiales del envase	%	7	0	-100%
Reutilización del envase	Veces	4	1	-75%

Figura 9.
Categorías de impacto en la comparación del envase actual y las dos alternativas en la producción y transporte


en [23], así mismo, por medio de gráficas evidencian mínimos efectos en el potencial de calentamiento global, acidificación y eutrofización con respecto a la producción de polietileno de alta densidad desde la extracción de materias primas hasta la fabricación de las bolsas, demostrando así el ecodiseño en tres fases del ciclo de vida; la extracción, manufactura y la disposición final.

Es por ello que se calcula el indicador de rendimiento de la Eq. 5 para la estrategia ya ejecutada y se presenta en la tabla 2 en la cual se visualiza su magnitud para las bolsas fabricadas en PEAD y las bolsas oxobiodegradables, y la columna titulada % corresponde al porcentaje de cambio de la alternativa con respecto al empaque actual. De allí se puede determinar que los indicadores de rendimiento clave no se pueden calcular fácilmente debido a que el reciclaje y reutilización de las bolsas plásticas en PEAD y oxobiodegradables son conceptos sostenibles que no se aplican y es necesario recurrir a la literatura para hallar un dato numérico. No obstante, según los valores obtenidos si existiese una comunicación asertiva entre los consumidores y las empresas transformadoras de plástico, todas las bolsas de este tipo podrían ser convertidas en materia prima para producir más bolsas plásticas u otros objetos cuyo insumo sea este material. Igualmente, en lo que se refiere a la reutilización el valor consignado en la tabla es un número de veces estimado que cada bolsa podría ser reusada, sin embargo, en las bolsas oxobiodegradables hay que tener en cuenta diversos factores que permitan esta acción, pues las condiciones del ambiente afectan el proceso de degradación (ver Tabla 2).

Adicionalmente, se utilizó el software SimaPro para comparar tres escenarios de las bolsas de punto de pago en tres fases del ciclo de vida; manufactura, transporte y disposición. En este caso se contrastó el uso de una bolsa hecha en polietileno de alta densidad convencional, una bolsa de polietileno de alta densidad fabricada a partir de plástico reciclado (en las gráficas estará determinado con el número 1) y la bolsa oxobiodegradable implementada por Compañía Pesquera del Mar S.A.S. (se podrá visualizar en las gráficas con el número 2). Es por lo anterior, que el análisis se ejecutó por cada fase del ciclo de vida, en la figura 9 se muestran las categorías de impacto de los tres escenarios en el proceso de manufactura y transporte en el cual es evidente los efectos con relación al transporte ya que en siete de las diez categorías supera el 90% de incidencia, así pues, en la categoría de sustancias cancerígenas se puede evidenciar un impacto similar entre la manufactura y el transporte, siendo relevante que la estrategia de utilizar polietileno de alta densidad reciclado para la fabricación de bolsas tiene una disminución mínima para este impacto, valorando el hecho de que no es necesario extraer materias primas nuevamente para la producción, por lo que el uso de sustancias tóxicas cancerígenas se reduce en pequeñas proporciones. Por otra parte, en la categoría del uso del suelo y minerales se concluye que los impactos generados por ambas etapas consideradas dentro del ciclo de vida son superiores a los daños generados por el transporte, es decir, en la manufactura de las bolsas de punto de pago se consideran la transformación de hábitats naturales y expansión industrial para la extracción de materias primas,

Figura 10.
Categorías de daño en la comparación del envase actual y las dos alternativas en la producción y transporte


los cambios producidos por las tecnologías en la calidad del suelo, cómo disminuye la fertilidad y funcionalidad para otros procesos biológicos y el posterior daño a los ecosistemas, en el caso de los minerales la gráfica tiene tendencias similares y sobresalen los porcentajes para la alternativa que usa PEAD reciclado, siendo este un caso inesperado ya que esta categoría es donde se tiene en cuenta la extracción de minerales y combustibles fósiles, a pesar de ello, puede ser válido el hecho que el PEAD reciclado tenga que ser transportado hasta las empresas transformadoras de plástico, lo cual incrementa la utilización de recursos fósiles. Asimismo, es importante analizar la categoría de ecotoxicidad ya que allí hay un impacto mayor en la producción de bolsas con PEAD virgen y las bolsas oxobiodegradables con 37% y 31%, respectivamente, situación similar al de transporte donde las estrategias inmediatamente mencionadas alcanzan un 98% y 95%, debido a que la ecotoxicidad está medida como el desplazamiento de un contaminante a través de un compartimento ambiental entendido como aire, suelo, agua superficial o agua subterránea por lo que la emisión de material particulado, compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de azufre y demás contaminantes producto de los vehículos es aquello que se ve reflejado en la magnitud del impacto (ver Figura 9).

Ahora bien, en la figura 10 se observan las categorías de daño, inicialmente se evalúa lo presentado en la salud humana que es consecuencia de los efectos como cambio climático, disminución de la capa de ozono, radiación ionizante y efectos cancerígenos y respiratorios, de manera que hay un mayor impacto en el transporte, debido a las razones anteriormente expuestas y en la producción, al igual que en las categorías de impacto, se observan porcentajes alrededor del 20% en el que los años de vida perdidos por enfermedad y la duración de estas están directamente relacionadas con los problemas respiratorios producidos por sustancias orgánicas e inorgánicas y las

sustancias cancerígenas. En ese orden de ideas, la calidad de los ecosistemas está influenciada por la ecotoxicidad, acidificación, eutrofización y el uso del suelo, es por ello que en la producción los impactos no superan el 35% y el caso de la alternativa con PEAD reciclado tiene un impacto significativamente inferior a los demás debido a que las emisiones de gases y vertimientos industriales, cuando se fabrica una bolsa a partir de PEAD reciclado en comparación con PEAD virgen o en su defecto una oxobiodegradables, son mucho menores ya que no se debe partir del hecho de extraer la materia prima. Es por lo anterior, que en la categoría de recursos la etapa de producción posee un mayor impacto con relación al transporte, presentando el mismo escenario que en las categorías de impacto, donde el uso de PEAD reciclado tiene un mayor impacto y se le atribuye al transporte adicional a las empresas transformadoras de plástico para la producción de otros objetos (ver Figura 10).

Por último, la etapa de disposición al ser modelada en el software SimaPro no se observa una variación significativa debido a que la reciclabilidad de las bolsas en Colombia es relativamente baja, como se pudo observar en el índice de rendimiento clave, por consiguiente, luego de que las bolsas de punto de pago se utilizan un par de veces se disponen, llegando a un relleno sanitario donde tardan en degradarse aproximadamente 150 años en el caso de las bolsas convencionales ya sea fabricadas de PEAD virgen o reciclado, no obstante, es para la bolsa oxobiodegradable una ventaja sobre las otras dos que su tiempo de degradación sea mucho menor, el cual tarda doce meses en cumplir con este proceso bajo condiciones ideales y según la información del proveedor de Compañía Pesquera del Mar S. A. S en un sitio de disposición final de este tipo la eliminación del material cumple con este período, a pesar de ello, en el instrumento tecnológico no fue posible diferenciar el tiempo de degradación del material siendo esto un impedimento para mostrar las gráficas en el presente estudio.

4. CONCLUSIONES

La selección de estrategias de ecodiseño para envases y empaques se lleva a cabo en función de los materiales empleados en el envase primario, secundario o terciario; sus dimensiones, peso y funcionalidad se definen de acuerdo con el escenario actual ya que allí se presentan las problemáticas relacionadas con el impacto ambiental que generan como en la extracción de recursos naturales o la disposición final. De esta manera, se reconocen las etapas del ciclo de vida de cada envase y empaque con el fin de formular objetivos dirigidos a la aplicación de economía circular, sin olvidar las metodologías de evaluación que posteriormente facilitarán la elección de una alternativa sostenible, como lo son los indicadores de rendimiento clave y las categorías daño-impacto del software SimaPro. Por consiguiente, una vez analizadas las alternativas de Pesquera Mar Adentro por medio de los indicadores de rendimiento clave y la visualización de los impactos generados en SimaPro se puede concluir que la Alternativa 1 es una opción sencilla de implementar y a pesar de que no trae grandes beneficios ambientales estaría constituyéndose como una ventaja económica, en principio, porque el personal que empaca el producto tardaría menos tiempo, reflejándose en la productividad de la empresa y en la compra de cajas de cartón. Por el contrario, la alternativa 2 involucra cambios importantes para el medio ambiente, lo que conlleva a brindar un valor agregado a la empresa por la preservación de los recursos naturales, la calidad de los ecosistemas y la salud pública, fomenta el aprovechamiento de los materiales y evita el uso de otros perjudiciales tanto en su producción como disposición, así mismo, se obtienen beneficios en términos monetarios ya que se elimina el uso de poliestireno expandido y las tres cajas de cartón (dos cajas para doce latas de carne de jaiba y una caja para contener estas dos), cambiando por una única caja, la cual además de cumplir con la refrigeración del producto, tiene un tiempo de empaque menor.

En lo que se refiere a la empresa Compañía Pesquera del Mar S. A. S, se pueden visualizar varios aspectos de disminución de impactos según las alternativas que se planteen, para ello se debe tener en cuenta cuáles de las estrategias tienen una mayor incidencia y jerarquizar las categorías a partir de los aspectos clave que la empresa desee mejorar. De modo que, cambiar de bolsas de punto de pago en PEAD a bolsas oxobiodegradables constituye un beneficio para las etapas de manufactura y transporte ya que la utilización de menor cantidad de materia prima plástica favorece el cuidado de los ecosistemas y la salud pública; no obstante, la problemática principal es el destino de los productos, realmente debe existir un cambio de pensamiento en cuanto al consumo y la decisión que el consumidor toma una vez que finaliza la vida útil de aquello que compró.

Por lo dicho anteriormente, el reto de las empresas que aún optan por emplear bolsas de punto de pago de

pocos usos es informar a sus clientes la posibilidad de reciclar las bolsas que adquieren, de esta forma, la responsabilidad es compartida y tanto el usuario como la compañía pueden ejercer el concepto de economía circular al cual se requiere hacer una transición, esto implica la identificación de organizaciones que recolectan estos productos y sean conducidos a un sitio de transformación; en ese sentido, utilizar bolsas de punto de pago fabricadas a partir de PEAD reciclado permite cerrar el ciclo del plástico, sin necesidad de extraer materias primas que, además de contaminar en la etapa de manufactura, pueden tener una incidencia mayor al momento de disponerlas como se observaba en las categorías de impacto y daño.

Por consiguiente, para Compañía Pesquera del Mar S. A. S, continuar con el uso de bolsas oxobiodegradables es una opción válida ya que como se observó hay una disminución en los impactos, de manera que debe tener conocimiento de las futuras directrices de las autoridades ambientales en materia del tipo de plástico actualmente empleado, y si se hace necesario evaluar la viabilidad de utilizar bolsas plásticas producidas con material reciclado, no solo para evitar la extracción de materias primas, sino buscar estrategias que promuevan en sus consumidores la recolección de estos empaques, donde las personas que compran productos de esta compañía únicamente adquieran bolsas de punto de pago si es realmente necesario, de lo contrario el uso de una bolsa plástica menos coopera en la disminución de impactos negativos en el ambiente a lo largo del ciclo de vida.

REFERENCIAS

- [1] O. Avella, «Empaques, envases y embalajes: una propuesta normativa», *Tecnogestión: una mirada al Ambiente*, pp. 1-10.
- [2] M. C. Martínez, *La problemática de la cultura del empaque: del diseño centrado en el consumo, al diseño centrado en la función ambiental*, Editorial Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad de Colombia.
- [3] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, «Resolución 1407 de 2018» [Online], 2018. Disponible en <https://www.andi.com.co/Uploads/RES%201407%20DE%202018.pdf>
- [4] Ihobe & Ecoembes, *Guía de ecodiseño de envases y embalajes*, País Vasco, 2017.
- [5] J. Maderna-Fernández, S. Pérez-Canto y J. C. Rubio-Romero, «Norma ISO 14006 como guía para el ecodiseño», *Escuela Técnica Superior de Ingeniería industrial de la Universidad de Málaga*, vol. 88, 2013.
- [6] A. Bala y P. Fullana, «Diagnóstico ambiental y eco-etiquetas» [Online], Ecoembes, Madrid, 2016. Disponible en <https://www.ecoembesthecircularcampus.com/web/app/uploads/2021/01/>

- diagnosis-ambiental-y-ecodiseño.pdf
- [7] D. S. Smith. (2019). «Ventajas del cartón para el medio ambiente» [Online]. Disponible en <https://www.dssmith.com/es/tecnicarton/sobre-tecnicarton/noticias/2019/6/ventajas-del-carton-para-el-medio-ambiente>
- [8] N. García, *Evaluación del impacto ambiental de la aplicación de un plan de gestión posconsumo de poliestireno expandido (EPS) utilizado en el envase de alimentos en Colombia*, Tesis, Universidad EAN, Bogotá, 2019.
- [9] Envolvert (2020). ¡No más icopor! [Online]. Disponible en: <https://envol-vert.org/es/actualidades/2020/04/avianca-aterriza/>
- [10] Interplásticos. «Bolsas plásticas oxo-biodegradables» [Online]. Disponible en <https://www.interplasticos-colombia.com/bolsas-oxo-biodegradable>
- [11] J. M. Rodrigues da Luz, S. Albino-Paes, M. Días-Nunes, M. Soares da Silva, M.C. Megumi-Kasuya, «Degradation of oxo-biodegradable plastic by pleurotus ostreatus» [Online], 2013. Disponible en <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0069386>
- [12] Villapack. «¿Qué diferencias hay entre el plástico oxobiodegradable y oxodegradable?» [Online]. Disponible en <https://www.vilapack.com/embalaje/diferencias-plastico-oxodegradable-oxobiodegradable>
- [13] Unión Europea, *Diario oficial de la Unión Europea* [Online], Directiva (UE) 2019/904, 2019. Disponible en <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0904&from=EN>
- [14] Foundation Ellen MacArthur, *Oxo-degradable plastic packaging is not a solution to plastic pollution, and does not fit in a circular economy* [Online], 2019. Disponible en <https://ellenmacarthurfoundation.org/oxo-statement>
- [15] DANE, «Hoja metodológica de indicadores cuenta satélite ambiental» [Online], Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/indicadores/cuenta-ambiental-y-economica-de-flujo-de-materiales/tasa-reciclaje/hm-tasa-reciclaje.pdf
- [16] S. Capuz y T. Gómez, *Ecodiseño. Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles*, 1.ª ed. Valencia, España: Alfaomega Grupo Editor, 2014, pp. 118-123.
- [17] L. Mertens, «Formación y productividad. Guía Simapro» [Online], 2009. Disponible en https://www.oit-simapro.org/uploads/3/1/9/0/31906627/gua_simapro.pdf
- [18] J. J Pinzón. (2020). «Selecciona las mejores bibliotecas en Simapro para tu producto». [Vídeo]. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=vEo3z6IBm-3M&list=PLAeb4cG5MKrTmUszPITFFnEPTOdcReftW&index=6>
- [19] Interreg V Sudoe, «La evaluación de impactos de ciclo de vida» [Online]. Disponible en <https://4.interreg-sudoe.eu/contenido-dinamico/libreria-ficheros/DF9B203F-0C54-CE12-C317-F543B066088A.pdf>
- [20] Cartonlab (2022). «Tipos de cartón y cómo diseñar con ellos» [Online]. Disponible en <https://cartonlab.com/blog/tipos-de-carton-aplicaciones/>
- [21] Smurfit Kappa (2022). «ThermoBox – empaque térmico». Disponible en <https://www.smurfitkappa.com/co/products-and-services/packaging/thermobox>
- [22] Pontificia Universidad Católica de Perú (2018, junio, 11). «Las bolsas biodegradables no son la solución» [Online]. Disponible en <https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/las-bolsas-biodegradables-no-son-la-solucion/>
- [23] The Association of Plastic Recyclers [APR], «Life cycle impact for postconsumer recycled resins: PET, HDPE, and PP», Eastern Research Group.



REVISTA INGENIO

Análisis de Protecciones Eléctricas de Microgrids Modo Isla con Elevada Penetración de Energías Renovables no Convencionales

Analysis of Electrical Protections of Island Mode Microgrids with High Penetration of Non-Conventional Renewable Energies

Kevin Alexander Ortiz Santiana | Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

ARTICLE HISTORY

Received: 7/11/2022
Accepted: 7/12/2022

KEY WORDS

Distributed generation, micro network, island mode, protection.

ABSTRACT

The integration of distributed generation in microgrids offers a renewable alternative to conventional generation with improved power quality and reduced energy losses. However, microgrids also pose new technological challenges such as the coordination of electrical protection measures against short-circuit currents and fluctuations in the bidirectional energy flow. This research measures load and generation operating conditions to determine the best settings and overcurrent protection for microgrids. Simulations were developed for four different cases: synchronous generator bus, wind generation bus and solar generator bus 1 and 2, separate three-phase faults were caused in each bus to which each generator was connected, thus obtaining the operating curve of each relay and the process of disconnecting said bar.

PALABRAS CLAVE

Generación distribuida, microred, modo isla, protección.

RESUMEN

La integración de la generación distribuida en microrredes ofrece una alternativa renovable a la generación convencional con una calidad de energía mejorada y pérdidas de energía reducidas. Sin embargo, las microrredes también plantean nuevos retos tecnológicos, como la coordinación de medidas de protección eléctrica ante corrientes de cortocircuito y fluctuaciones en el flujo de energía bidireccional. Esta investigación mide las condiciones de operación de la carga y generación para determinar los mejores ajustes y protección contra sobrecorriente para microrredes. Se desarrollaron simulaciones para cuatro casos diferentes: barra del generador sincrónico, barra de generación eólica y barra del generador solar 1 y 2, se provocaron fallas trifásicas separadas en cada barra a la que estaba conectado cada generador, obteniendo así la curva de funcionamiento de cada relé y el proceso de desconexión de dicha barra.

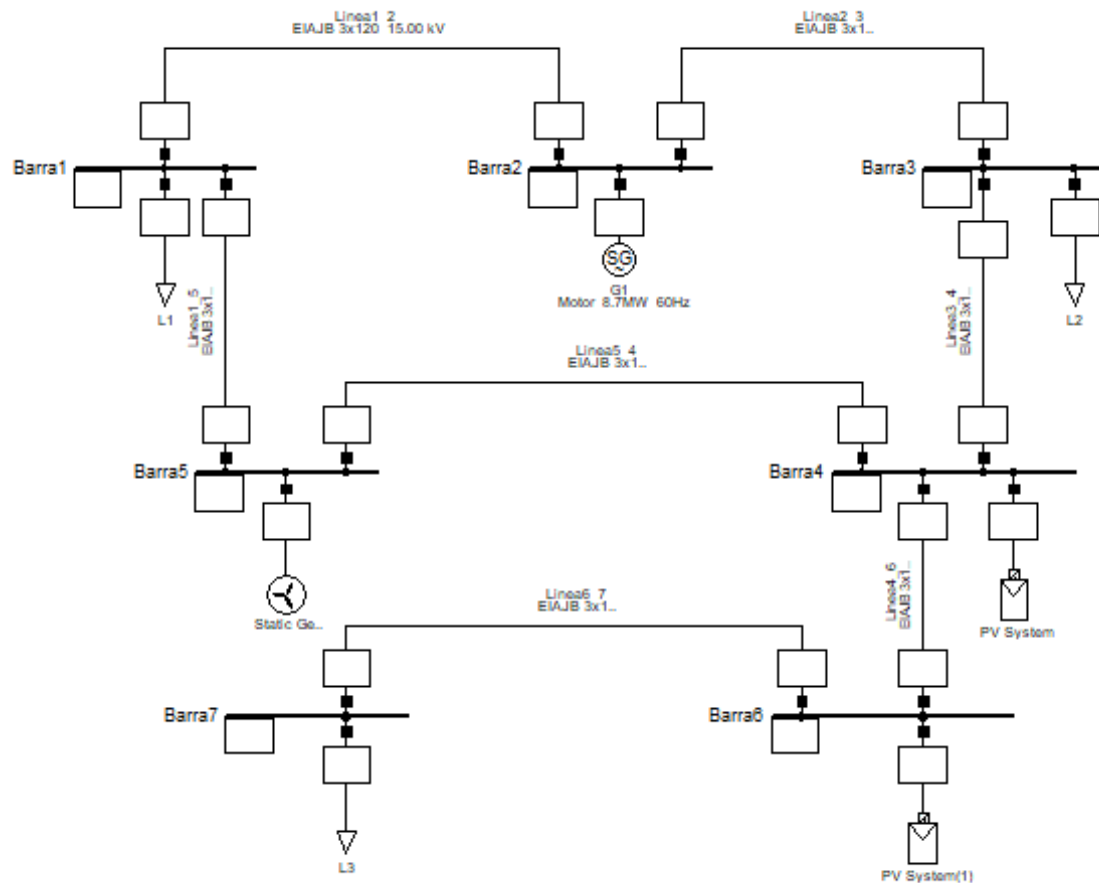
I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, en el mercado eléctrico se escucha el concepto de microrredes, el cual es una serie de generadores de cargas y almacenamiento de energía que forman una pequeña red, que se puede conectar a una red convencional u operar en modo isla, es decir, sin conexión a la red eléctrica.

La creciente demanda de energía eléctrica y la predisposición a reducir los gases de efecto invernadero que aportan al calentamiento global exigen la integración de fuentes de energía renovables como la eólica y la solar a través de la generación distribuida; los usuarios ya no son solo una carga en la red, sino que pueden aportar

Figura 1.

Caso de estudio



energía a la misma, reduciendo así las pérdidas de electricidad y la contaminación [1] que se produce al generar energía eléctrica a partir de fuentes de energía fósiles.

Sin embargo, debido a la imprevisibilidad de la energía renovable, el flujo bidireccional y las corrientes de cortocircuito variables que exhiben las barras de generación distribuida complican enormemente la operación y protección del sistema. Esta es la razón por la que la protección de circuitos eléctricos tradicional no funciona correctamente [2].

Las fallas, tanto grandes como pequeñas, en el sistema eléctrico, provocan importantes pérdidas económicas que afectan directamente la calidad de vida de las personas. Por este motivo, se requiere un estudio exhaustivo de los dispositivos de protección eléctrica. Los estudios sobre la protección de las microrredes son de gran interés para mejorar la confiabilidad considerando el uso de energías renovables, ya que pueden operar en islas con solo generación distribuida, pero esto implica que los componentes de las microrredes necesitan un control para asegurar los niveles de voltaje, frecuencia, potencia activa y reactiva en valores nominales [3].

En el presente proyecto se realiza la simulación en el software Power Factory DigSilent de un caso de estudio en el cual se efectúa el análisis de flujo de carga, análisis de cortocircuito en las barras donde se encuentran conectadas las fuentes de generación y una simulación dinámica de cortocircuito en las barras previamente mencionadas, con la finalidad de obtener criterios de protección de sobrecorrientes y verificar el comportamiento de la frecuencia del sistema frente a dichas contingencias.

1.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

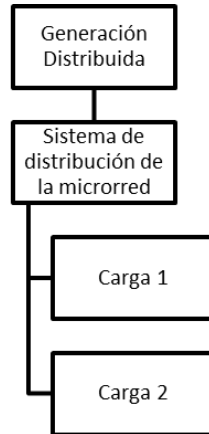
1.1.1. ¿Qué es una microrred?

Una microrred es una red eléctrica inteligente que opera sobre una red de distribución, o sin esta, este tipo de sistemas contribuyen a la confiabilidad y eficiencia de los servicios eléctricos en zonas remotas, además de que ayudan a mantener un flujo activo de energía [4].

Una de las grandes ventajas de la red es que la generación se encuentra cerca de la carga, eso significa que se optimiza las pérdidas de energía. De manera similar, si

Figura 2.

Esquema de una microrred operando en modo isla



falla la red principal, la microrred puede operar en modo isla, sin necesidad de perder el suministro de electricidad y así satisfacer la demanda [1].

En la figura 1 se muestra el caso de estudio que corresponde a una microrred modo isla de 7 barras, posee una topología mixta, una parte es radial y otra en anillo (ver Figura 1).

1.1.2. Protecciones en una microrred

Se propuso una protección de sobrecorriente con diferentes curvas de operación del relé, y uno de los enfoques principales en este estudio fue modificar este documento para que el esquema de protección pueda generalizarse ante diferentes escenarios de operación [5].

Varios autores [6], [7], [8] destacan que, para implementar una estrategia de protección, es necesario considerar los efectos de corriente de cortocircuito que tienen los distintos generadores, dependiendo del estado de operación del sistema (conectado a la red como modo o modo isla).

1.1.3. Generación distribuida

La generación distribuida se compone de fuentes de energía renovables convencionales o no convencionales, es la cooperación de suministrar energía a través de la interacción con una red local o una red convencional.

El sistema ya tiene una operatividad diferente, con múltiples barras que actúan como carga y generación, la inyección de corriente en el sistema reduce las pérdidas debido a la transferencia de energía, además si se inyectan reactivos mejora el factor de potencia y eso ayuda a mejorar el perfil de tensión del sistema de distribución [9] (ver Figura 2).

1.1.4. Operación de la microrred en modo isla

Esto es posible si la generación distribuida es lo suficientemente grande como para cubrir las demandas de

energía y las pérdidas de energía en la red [9]. Debido a que existe un flujo diferente de energía en este modo de operación en comparación con el modo de operación conectado a la red, solo hay una contribución de corriente de cortocircuito proporcionada por energía renovable, lo que hace que sea mucho más complicado coordinar la protección eléctrica de la red.

2. MÉTODO

La implementación de energía distribuida en las microrredes es una oferta muy beneficiosa para el mercado eléctrico, ya que es una propuesta renovable y limpia, pero la misma naturaleza de estas fuentes de energía, además de la tecnología necesaria para poder utilizarlas presenta desafíos técnicos muy grandes, entre ellos está la protección del sistema [5], [10], [11]; para el caso de estudio se plantea la simulación de [9], sin considerar la red eléctrica convencional, además de añadir un pequeño generador síncrono en la barra 2 y una carga 1 en la barra 1; en este estudio se aborda el análisis de curvas de relés frente a fallas trifásicas individuales en las barras donde se encuentran conectados generadores, además de verificar el estado de la red con un flujo de carga y comprobar la frecuencia mediante una simulación dinámica frente a las fallas anteriormente mencionadas.

2.1. DESARROLLO

2.1.1. Estudio de flujo de carga

Los criterios considerados para desarrollar el flujo de potencia en el circuito de caso de estudio: la red podrá abastecer las cargas, la red debe mantener continuidad del servicio ante la existencia de falla de algún elemento del sistema, no se aceptan sobrecargas en los elementos de la red, el nivel de voltaje no debe exceder al 5%.

Figura 3.

Flujo de potencia en la microrred

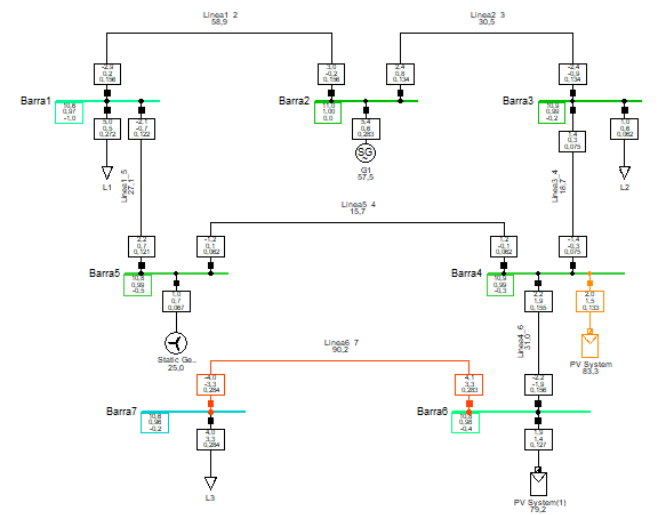


Figura 4.

Ubicación de la falla trifásica y relé de desconexión

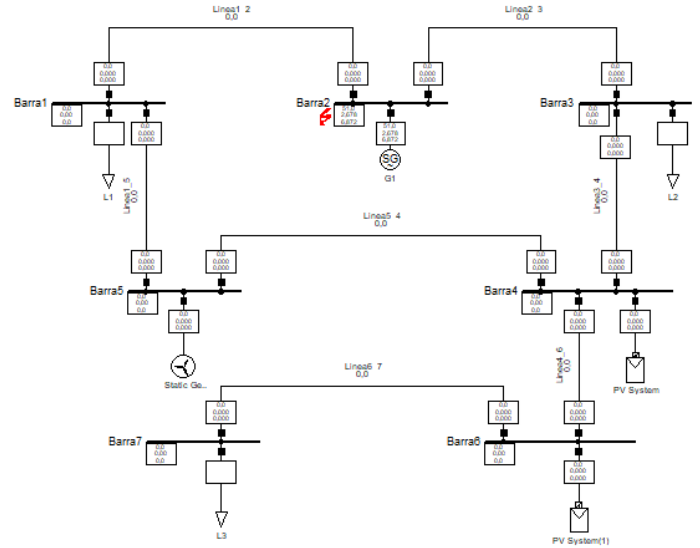


Tabla 1.

Escenarios de operación definidos para el caso de estudio

Escenario de operación	Generador 1	Generador eólico	Generador fotovoltaico 1	Generador fotovoltaico 2
1	Cortocircuito			
2		Cortocircuito		
3			Cortocircuito	
4				Cortocircuito

Nota. Las fallas se efectúan en las barras donde se encuentran conectados los generadores.

La figura 3 presenta el estado de la microrred en el momento de ejecutar el flujo de potencia a la misma (ver Figura 3).

2.1.2. Estudio de cortocircuitos

En un sistema eléctrico, cualquier evento que interrumpa el flujo normal de energía se lo conoce como falla, la más grave es la simétrica o también conocida como falla trifásica, pero lo más común es que existan fallas asimétricas.

El resultado de estas fallas provoca: flujos no deseados de corriente, corrientes que podrían dañar equipos y producir armónicos en la red entre los más relevantes.

El estudio de cortocircuito considera las condiciones de falla más relevantes en la microrred que serían fallas trifásicas en las barras donde se encuentran conectados los generadores, es así que la tabla 1 plantea los escenarios de operación (ver Tabla 1).

2.1.3. Primer escenario de operación

La figura 4 muestra la falla trifásica en la barra 2, además de la ubicación del relé que desconecta el generador que aporta a la falla (ver Figura 4).

2.1.4. Segundo escenario de operación

La figura 5 muestra la falla trifásica en la barra 5, además de la ubicación de los relés que desconecta al generador de la red (ver Figura 5).

2.1.5. Tercer escenario de operación

La figura 6 muestra la falla trifásica en la barra 4, además de la ubicación del relé que desconecta al generador de la red (ver Figura 6).

2.1.6. Cuarto escenario de operación

La figura 7 muestra la falla trifásica en la barra 6, además de la ubicación del relé que desconecta al generador de la red (ver Figura 7).

2.1.7. Simulación dinámica

La figura 8 presenta eventos de cortocircuito trifásicos en las barras donde se encuentran conectados generadores, con la finalidad de observar algún tipo de transitorio en la frecuencia (ver Figura 8).

Figura 5.
Ubicación de la falla trifásica y relés de desconexión

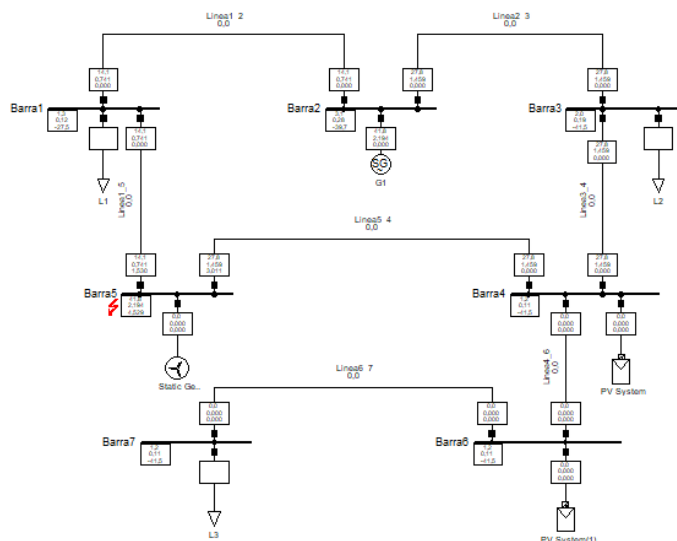
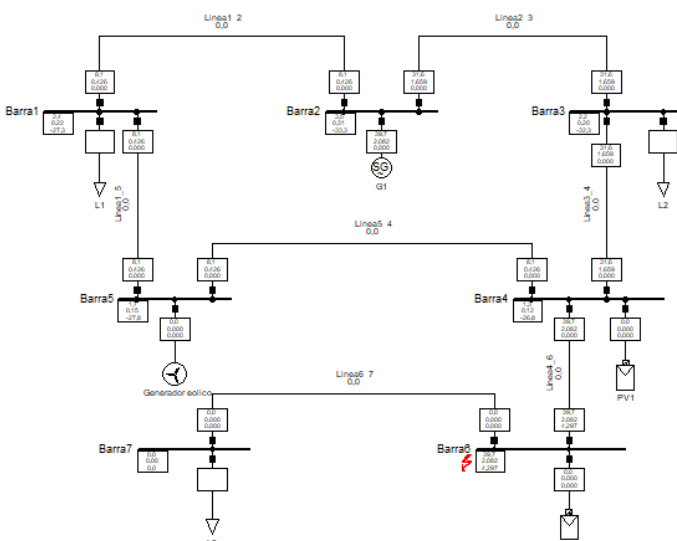


Figura 7.
Ubicación de la falla trifásica y relé de desconexión



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RESULTADO DEL ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA

La tabla 2 muestra los voltajes en p.u. de las barras de la microrred correspondiente al caso de análisis (ver Tabla 2).

El perfil de voltaje en todas las barras de la microrred se encuentra en un margen tolerable, ya que los valores mostrados en p.u. no sobrepasan del 4% en caídas de voltaje. La tabla 3 presenta la cargabilidad de los elementos de la microrred (ver Tabla 3).

3.2 RESULTADO DEL PRIMER ESCENARIO

En la figura 9 se puede evidenciar la solución de curvas para el generador que está conectado a la barra 2 (ver Figura 9). El relé opera a corriente de falla con un valor de 2646,56 A con un tiempo de operación 35 ms.

Figura 6.
Ubicación de la falla trifásica y relé de desconexión

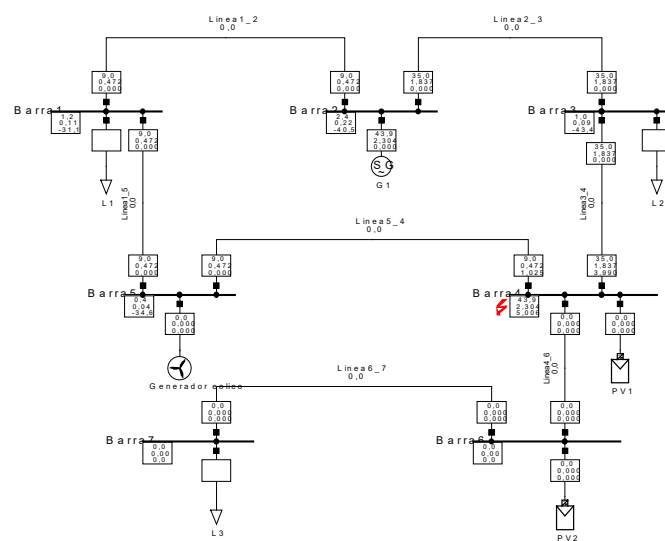


Figura 8.
Eventos de simulación dinámica

Name	Time	Object	Out of Service	Object modified	Object modified by
Short-Circuit Event	0.1	Barra2	<input type="checkbox"/>	6/11/2022 21:42:05	Acer
Short-Circuit Event(1)	0.5	Barra2	<input type="checkbox"/>	6/11/2022 22:07:56	Acer
Short-Circuit Event(2)	0.6	Barra5	<input type="checkbox"/>	6/11/2022 22:08:57	Acer
Short-Circuit Event(3)	1.	Barra5	<input type="checkbox"/>	6/11/2022 22:09:15	Acer
Short-Circuit Event(4)	1.1	Barra4	<input type="checkbox"/>	6/11/2022 22:09:36	Acer
Short-Circuit Event(5)	1.5	Barra4	<input type="checkbox"/>	6/11/2022 22:10:09	Acer
Short-Circuit Event(6)	1.6	Barra6	<input type="checkbox"/>	6/11/2022 22:10:27	Acer
Short-Circuit Event(7)	2.	Barra6	<input type="checkbox"/>	6/11/2022 22:10:37	Acer

3.3. RESULTADO DEL SEGUNDO ESCENARIO

En la figura 10 se puede evidenciar la solución de curvas para el generador que está conectado a la barra 5 (ver Figura 10).

El relé que opera en la barra 1 censa una corriente de falla de 734,12 A con un tiempo de operación de 0,573 s, además del relé que opera en la barra 4, censa un valor de 1430,63 A con un tiempo de operación de 0,035 s, es evidente notar que la corriente en la barra 4 duplica en valor a la barra 1.

3.4. RESULTADO DEL TERCER ESCENARIO

En la figura 11 se presenta la solución de curvas para el generador que está conectado a la barra 4 (ver Figura 11). El único aporte hacia la falla en la barra 4 corresponde a la barra 3, cuyo relé censa una corriente de falla de 1 827,96 A y opera en un tiempo de 0,628 s.

Figura 10.
Curva de protección del segundo escenario

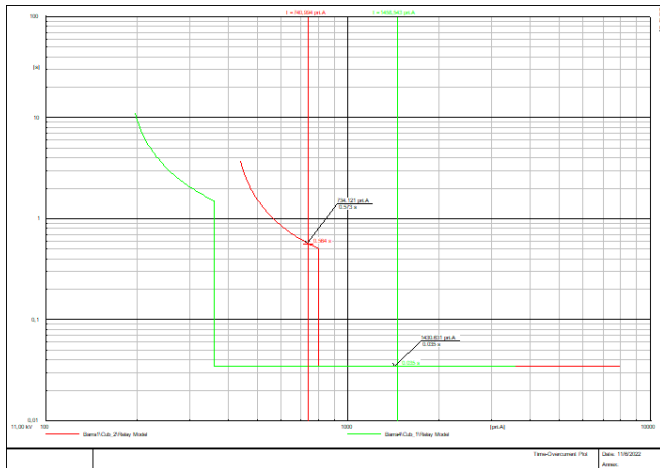


Figura 11.
Curva de protección del tercer escenario

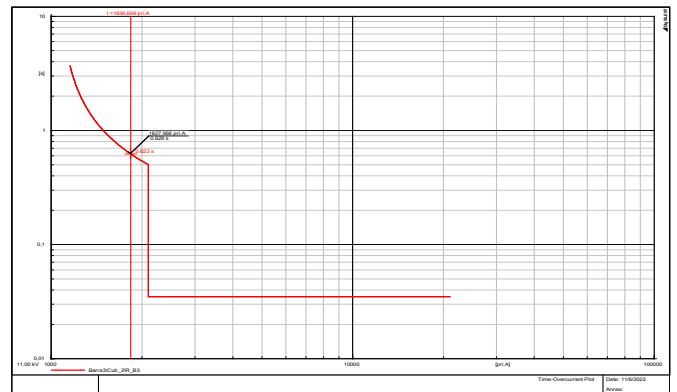


Figura 12.
Curva de protección del cuarto escenario

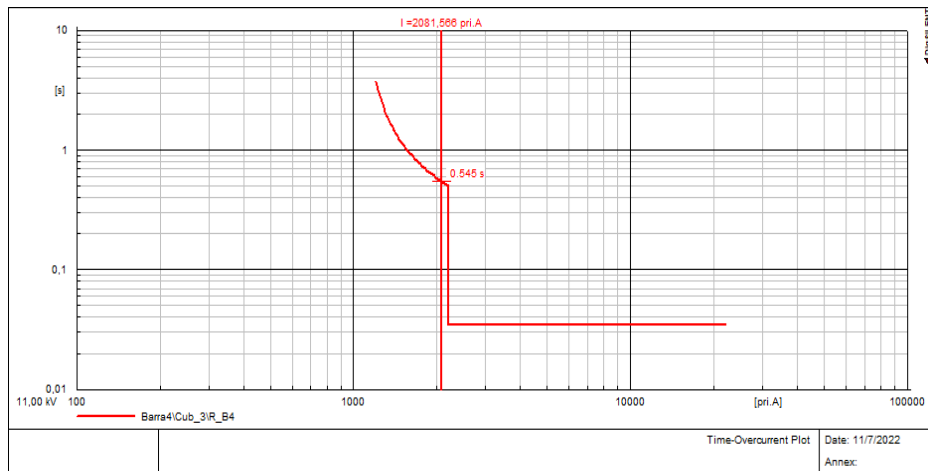
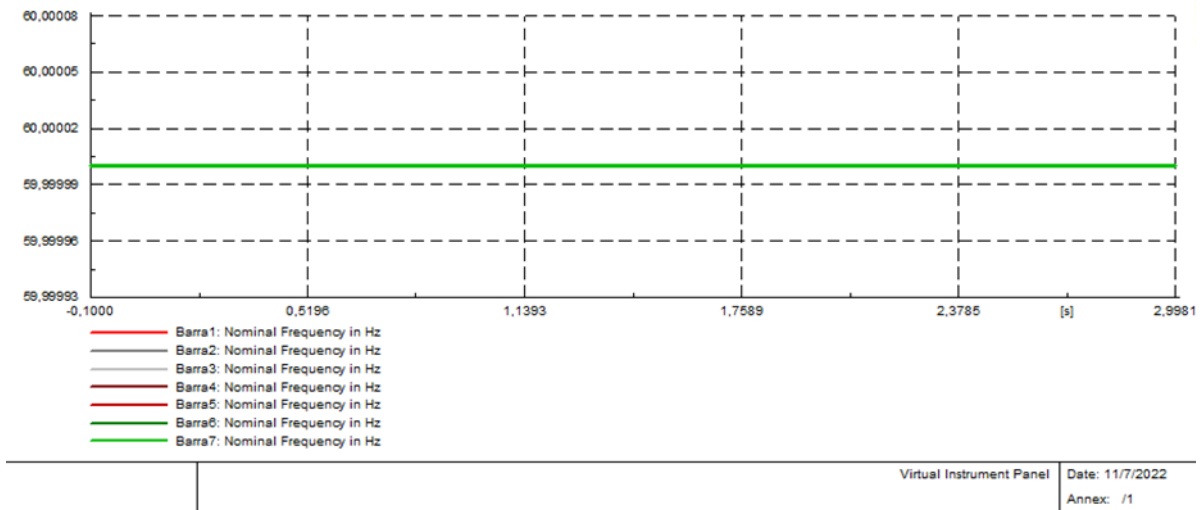


Figura 13.
Frecuencia en barras de la microrred



3.5. RESULTADO DEL CUARTO ESCENARIO

En la figura 12 se presenta la solución de curvas para el generador que está conectado a la barra 6. (ver Figura 12)

El relé de la barra 4, censa una corriente de falla de 2 081,56 A en un tiempo de operación de 0,545 s, la barra 7 no brinda aporte a la falla trifásica puesto que es una barra de carga.

3.6. RESULTADO DE LA SIMULACIÓN DINÁMICA

La importancia que tiene el mantener la frecuencia de la red dentro de una banda tolerable es de mucha importancia, es así que se ha efectuado una simulación dinámica en el dominio del tiempo para determinar la afectación que existe en la frecuencia de la red.

La figura 13 muestra el comportamiento de la frecuencia en las barras de la microrred (ver Figura 13).

Es notable que la frecuencia de las barras se mantiene constante a pesar de que existe contingencias, todas las barras mantienen la frecuencia nominal de 60Hz, por lo que la gráfica nos muestra una sola línea constante que se entiende por la superposición del resto de curvas de las barras que no se puede observar.

4. CONCLUSIONES

- Se implementó un modelo de microrred para probar diversas dificultades, como pequeñas corrientes de cortocircuito o flujos de energía bidireccionales.
- Para todos los escenarios de operación se desarrolló un estudio de cortocircuito, en el cual se verificó la diferencia en las magnitudes de corriente de cortocircuito de los diferentes escenarios.
- El nivel de cortocircuito de las microrredes está muy relacionado con la tecnología del inversor que se utiliza en ellas, ya que se trata de un limitado aporte de corriente.

REFERENCIAS

[1] F. G.-T. L. V. Carlos Bordonsa, «Gestión óptima de la energía en microrredes con generación renovable», *Scimedirect*, vol. 12, n.º 2, 2015, pp. 117-132.

[2] J. A. B. Eneko Unamuno, «Hybrid ac/dc microgrids-Part I», *ScienceDirect*, vol. 52, n.º 1, 2015, pp. 1251-1259.

[3] P. Arbolea et al., «Efficient energy management in smart micro-grids: ZERO grid impact buildings», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 6, n.º 2, 2015, pp. 1055-1063.

[4] R. H. Lasseter, «Microgrids», 2002, *IEEE Power Eng. Soc. Winter Meet. Conf. Proc. (Cat. No.02CH37309)*, vol. 1, 2002. pp. 305-308.

[5] S. D. Saldarriaga-Zuluaga, J. M. López-Lezama and N. Muñoz-Galeano, «Optimal coordination of over-current relays in microgrids considering multiple characteristic curves», *Alexandria Engineering Journal*, vol. 60, n.º 2, abr. 2021, pp. 2093-2113 DOI: 10.1016/j.aej.2020.12.012.

[6] C. Li, P. Rakhra, P. J. Norman, G. M. Burt and P. Clarkson, «Multi-sample differential protection scheme in DC microgrids», *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 9, n.º 3, jun. 2021, pp. 2560-2573. DOI: 10.1109/JESTPE.2020.3005588.

[7] W. T. El-Sayed, E. F. El-Saadany and H. H. Zeineldin, «Interharmonic differential relay with a soft current limiter for the protection of inverter-based islanded microgrids», *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 36, n.º 3, jun. 2021, pp. 1349-1359. DOI: 10.1109/TPWRD.2020.3006791.

[8] S. F. Zarei, H. Mokhtari and F. Blaabjerg, «Fault detection and protection strategy for islanded inverter-based microgrids», *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 9, n.º 1, feb. 2021, pp. 472-484. DOI: 10.1109/JESTPE.2019.2962245.

[9] S. Ordóñez, «Propuesta de parametrización de protecciones eléctricas en microrredes mediante análisis de cargas y generación distribuida».

[10] S. Manson y E. McCullough, «Practical microgrid protection solutions: promises and challenges», *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 19, n.º 3, art. n.º 3, may 2021. DOI: 10.1109/MPE.2021.3057953.

[11] S. C. Vegunta et al., «AC microgrid protection system design challenges: a practical experience», *Energies*, vol. 14, n.º 7, art. n.º 7, ene. 2021, DOI: 10.3390/en14072016.



REVISTA INGENIO

Comportamiento de Temperaturas Top Oil y Hot Spot en Transformadores Sumergidos en Aceite Mediante el Ingreso de Carga de Vehículos Eléctricos

Behavior of Top Oil and Hot Spot Temperatures in Oil-Immersed Transformers by Means of Electric Vehicle Load Input

Fernando Rafael Arias Atiaja | [iD](#) Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

Armando Salvador Freire Freire | [iD](#) Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

ARTICLE HISTORY

Received: 7/11/2022

Accepted: 7/12/2022

KEY WORDS

Power transformer, normal load, temperature, load increase, electric vehicles, photovoltaic panels

PALABRAS CLAVE

Transformador de potencia, carga normal, temperatura, incremento de carga, vehículos eléctricos, paneles fotovoltaicos

ABSTRACT

The purpose of the following work is to calculate the top oil and hot spot temperature increases that the 187 MVA power transformer may experience, and to establish the limitations and guidelines within an acceptable level of operation within the IEEE C57. 91-1995, within the study there is a brief exposition of the equations used under the standard used, by means of Matlab code the calculation and study of the different scenarios that the load may have, the text presents the behavior figures under 4 operating conditions such as: normal load, top load, short- and long-term emergency load, through the initial base load profile of the table C.1 of the IEEE C57.91-1995 standard. In addition, the transformer temperature behavior due to the incorporation of distributed generation by means of photovoltaic panels and load increase due to the introduction of electric vehicles to the system is analyzed with reference to the Inov-Grid project carried out in the country of Portugal.

RESUMEN

El siguiente trabajo tiene como finalidad calcular los incrementos de temperaturas top oil y hot spot que puede experimentar el transformador de potencia de 187 MVA, y establecer las limitaciones y guías dentro de un nivel aceptable de funcionamiento dentro de la norma IEEE C57.91-1995. Dentro del estudio se realiza una breve exposición de las ecuaciones empleadas bajo la normativa utilizada; mediante código de Matlab se realiza el cálculo y estudio de los diferentes escenarios que puede tener la carga, se presenta en el texto las figuras de comportamiento bajo cuatro condiciones de operación como son: carga normal, carga superior, carga de emergencia a corto y largo plazo, a través del perfil de carga base inicial de la tabla C.1 de la norma IEEE C57.91-1995, además se analiza el comportamiento de temperatura del transformador debido a la incorporación de generación distribuida mediante paneles fotovoltaicos e incremento de carga por la introducción de vehículos eléctricos al sistema con referencia al proyecto InovGrid llevado a cabo en el país de Portugal.

I. INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre cálculo de temperatura de transformadores sumergidos en aceite son muy importantes ya que estos equipos suelen operar las 24 horas del día, mediante un ciclo normal, donde existen fluctuaciones a lo largo del día, sea para carga normal o en sobrecarga planificada por encima de la placa de identificación.

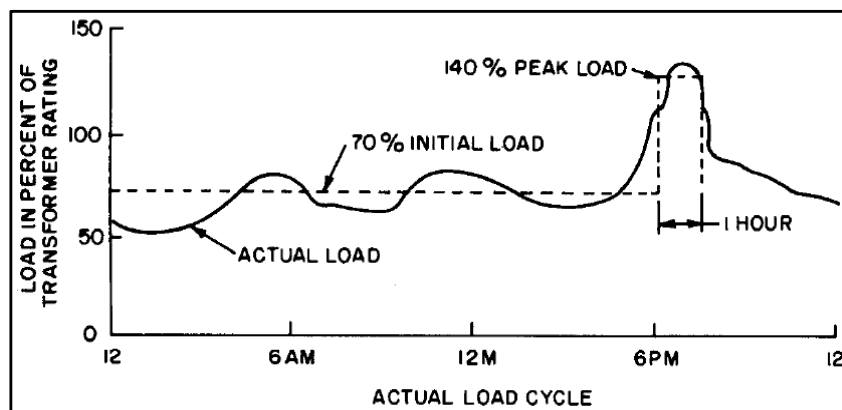
La causa de envejecimiento del aislamiento del transformador obedece a diversos factores, como el diseño, el historial de carga, la calidad del material aislante, la temperatura (devanado ambiente y aceite), eficiencia y mantenimiento del sistema de refrigeración [1].

El cálculo de temperatura en transformadores sirve para determinar la condición operativa del transformador, a su vez la temperatura ayuda a determinar el envejecimiento del papel aislante.

La capacidad de sobrecarga en transformadores, especialmente en transformadores de potencia, bajo condiciones de emergencia del sistema eléctrico, ha sido ampliamente estudiada con procedimientos de cálculo muy precisos, aun cuando los valores de temperatura alcanzados en el transformador son los únicos parámetros considerados.

Figura 1.

Ejemplo de ciclo de carga real y ciclo de carga equivalente



La temperatura ambiente también juega un factor importante para determinar la capacidad de carga de un transformador, los incrementos de carga deben agregarse al ambiente para determinar las temperaturas de funcionamiento. Para la clasificación del transformador se basan en temperatura ambiente promedio de 24 horas de 30 °C [2].

El método empleado para el cálculo de temperatura de aceite y de los devanados por cambios en la carga está simplificado y no requiere de procedimientos iterativos, donde dos exponentes representan cambios de pérdida de la carga y viscosidad del aceite causados por cambios de temperatura, los valores para los exponentes se determinan mediante procedimientos de prueba de sobrecarga [3].

Se proporciona un método alternativo que requiere un procedimiento de cálculo por computadora, el método produce una mayor precisión en la capacidad de carga si se utiliza métodos precisos para determinar la carga, temperatura y modo de refrigeración en funcionamiento.

Los conceptos que a continuación se explicitarán han sido tomados siguiendo como referencia las *Normas IEEE guide for loading: IEEE Std C57-91-1995* [2].

Además, la intención de este trabajo se ve reflejado a través de la integración de vehículos eléctricos (EV), y unidades de micro generación (uG) al sistema, el objetivo es ver cómo se comporta el transformador debido a la integración de estas unidades de carga y generación [4].

El propósito es analizar los posibles cambios de temperatura del transformador con una carga definida y sus cambios, debido a la integración de carga por la inclusión de vehículos eléctricos y, al mismo tiempo, la inyección de potencia al sistema por generación fotovoltaica.

Con la incorporación de vehículos eléctricos se espera que la carga del transformador vaya aumentando y, con la creciente integración de paneles fotovoltaicos, la carga vaya disminuyendo.

2. MÉTODO

2.1. ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DEL TRANSFORMADOR

La vida útil de un transformador de potencia está estimado de 20 a 35 años, pero podría alcanzar hasta unos 60 años según los mantenimientos correctos, existe una cierta incertidumbre en relación con la expectativa de vida y el deterioro progresivo de la máquina de acuerdo con lo que ofrecen los distintos fabricantes, la vida del transformador está relacionado con el proceso de degradación de la resistencia mecánica del papel, conocer el remanente de vida del transformador es un factor importante para la confiabilidad del sistema [5] [6]. Cuando el transformador es incapaz de cumplir con sus funciones de suplir potencia se podría decir que ha llegado al final de su vida útil [5].

El principio de envejecimiento del aislamiento o deterioro es una función temporal de temperatura, el contenido de oxígeno y humedad, aplicando los sistemas de conservación del aceite, la contribución de oxígeno y humedad al deterioro del aislamiento entonces se puede minimizar, llegando a definir la temperatura como parámetro de control [7] [8].

2.2. CICLO DE CARGA

Los transformadores operan con ciclos de carga que se repiten con un período de 24 horas. Un ciclo típico normal de carga es el que se muestra en la figura 1, donde se pueden observar fluctuaciones de carga a lo largo del día [2].

2.3. MÉTODO DE CONVERSIÓN DE CICLOS DE CARGA REALES EN EQUIVALENTES

Un transformador que suministra una carga fluctuante genera una pérdida fluctuante y su efecto es casi el mis-

mo como el que genera una carga constante promedio durante el mismo período de tiempo (ver Figura 1).

La carga equivalente, para todo un ciclo diario de carga puede expresarse por intermedio de la eq. 1 siguiente:

$$\left[\frac{L_1^2 t_1 + L_2^2 t_2 + L_3^2 t_3 + \dots + L_N^2 t_N}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_N} \right]^{0.5} \quad (1)$$

Donde:

L1, L2 son las diferentes etapas de carga en %, por unidad, kVA reales o en corriente de carga.

N es el número total de cargas consideradas en tantos períodos.

t1, t2 son las duraciones respectivas de estas cargas en horas.

2.4. EQUIVALENTE CONTINUO DE CARGA PREVIA

La carga previa continua equivalente, es la carga eficaz obtenida por medio de la eq. 8 en un período elegido del día. Carga construida para el ciclo de carga real (línea continua).

Continuos equivalentes por períodos de carga de 12 horas = $0,29[L_1^2 + L_2^2 + \dots + L_{12}^2]^{0.5}$

2.5. CÁLCULOS DE TEMPERATURAS

La temperatura del punto caliente (Θ_H) viene dado por la suma de tres condiciones de temperatura en un transformador de potencia, la extensión del punto más caliente del devanado sobre el aceite superior ($\Delta\Theta_H$) el incremento del aceite sobre la temperatura ambiente ($\Delta\Theta_{TO}$) y la temperatura ambiente (Θ_A) [9].

El cálculo de temperaturas top oil y hot spot se basan en la implementación de las ecuaciones de cálculo de temperaturas dictadas por la normativa IEEE C57.91-1995 mediante el perfil de carga.

El método para el cálculo de temperaturas del aceite y del bobinado presentado a continuación para el caso de cambios en el ciclo de cargas es simplificado y no requiere procesos iterativos. Los exponentes m y n utilizados responden a los cambios en la pérdida de carga y en la viscosidad del aceite causadas por cambios de temperatura [2].

2.6. COMPONENTES DE LA TEMPERATURA

La temperatura del punto más caliente del bobinado está dada por la eqs. 2 y 3 [2] [9]:

$$\Theta_H = \Theta_A + \Delta\Theta_{TO} + \Delta\Theta_H \quad (2)$$

Siendo la temperatura de aceite superior:

$$\Theta_{TO} = \Theta_A + \Delta\Theta_{TO} \quad (3)$$

Los cálculos de temperatura suponen una temperatura ambiente constante.

2.7. ELEVACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL ACEITE SUPERIOR POR ENCIMA DE LA TEMPERATURA AMBIENTE

La elevación máxima de la temperatura del aceite en un momento después de un cambio de etapa de carga es dada por la eq. 4 [2]:

$$\Delta\Theta_{TO} = (\Delta\Theta_{TO,U} - (\Delta\Theta_{TO,i})) \left(\frac{-1}{1 - \exp^{-\frac{1}{\tau_{TO}}}} \right) + \Delta\Theta_{TO,i} \quad (4)$$

Para el ciclo de sobrecarga de dos etapas, con una carga previa equivalente constante, la elevación inicial máxima del aceite se muestra en la eq. 5:

$$\Delta\Theta_{TO,i} = (\Delta\Theta_{TO,R}) \left[\frac{(K_i^2 R + 1)}{(R + 1)} \right]^n \quad (5)$$

Para el análisis de ciclos de carga en múltiples etapas con una serie de intervalos de corto tiempo, se usa la elevación máxima de aceite al final de la etapa previa de carga como elevación inicial de la temperatura de aceite superior para el cálculo de la siguiente etapa de carga [9] [10].

El valor máximo alcanzado por la temperatura superior de aceite está dado por la eq. 6:

$$\Delta\Theta_{TO,U} = (\Delta\Theta_{TO,R}) \left[\frac{(K_U^2 R + 1)}{(R + 1)} \right]^n \quad (6)$$

La ecuación se utiliza para calcular la elevación de temperatura del aceite superior para cada etapa de carga.

2.8. CONSTANTE DE TIEMPO DEL ACEITE

La capacidad térmica es dada por la siguiente ecuación para los modos de enfriamiento OA y FA:

C = 0,06 peso del conjunto de núcleo y bobina en libras + 0,04 (peso del tanque y accesorios en libras) + 1,33 (galones de aceite).

C = 0,0272 (peso del conjunto de núcleo y bobina en kilogramos) + 0,01814 (peso del tanque y accesorios en kilogramos) + 5,034 (litros de aceite).

C = 0,06 peso del conjunto de núcleo y bobina en libras + 0,06 (peso del tanque y accesorios en libras) + 1,93 (litros de aceite).

C = 0,0272 peso del conjunto de núcleo y bobina en libras + 0,0272 (peso del tanque y accesorios en kilogramos) + 7,305 (litros de aceite).

El peso a considerar para la cuba y radiadores es de todo aquel material ferroso en contacto con el aceite.

La constante de tiempo del aceite superior para carga nominal resulta por la eq. 7, [2] entonces:

$$\tau_{TO,R} = \frac{C \Delta\Theta_{TO,R}}{P_{T,R}} \quad (7)$$

Y la constante de tiempo para el aceite máximo viene dada por la eq. 8:

$$\tau_{TO} = \tau_{TO,R} \frac{\left(\frac{\Delta\Theta_{TO,U}}{\Delta\Theta_{TO,R}} \right) - \left(\frac{\Delta\Theta_{TO,i}}{\Delta\Theta_{TO,R}} \right)}{\left(\frac{\Delta\Theta_{TO,U}}{\Delta\Theta_{TO,R}} \right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{\Delta\Theta_{TO,i}}{\Delta\Theta_{TO,R}} \right)^{\frac{1}{n}}} \quad (8)$$

En la deducción de la eq. 8, se parte de la hipótesis de que la elevación extrema de la temperatura de aceite $\Delta\theta_{TO}$ es directamente proporcional con la pérdida de calor q , es decir;

$$\Delta\theta_{TO} = kq^n \quad (9)$$

Cuando $n = 1$, el 63% del cambio de temperatura ocurre en un lapso igual a la constante de tiempo sin importar la relación entre la elevación de la temperatura inicial y la elevación extrema de la temperatura. Cuando n no es igual a 1, entonces el cambio de temperatura en un intervalo de tiempo similar será diferente, dependiendo tanto de la elevación inicial de la temperatura como de la temperatura extrema [2].

2.9. ELEVACIÓN EN LOS PUNTOS CALIENTES DE LOS BOBINADOS

El gradiente de temperatura transitoria en los puntos más calientes del bobinado por encima de la temperatura del aceite superior está dado por la eq. 10:

$$\Delta\theta_H = (\Delta\theta_{H,U} - \Delta\theta_{TO,i}) \left(\frac{-t}{\tau_w} \right) + \Delta\theta_{H,i} \quad (10)$$

El valor inicial del punto más caliente por encima del aceite superior muestra la eq. 11:

$$\Delta\theta_{H,i} = \Delta\theta_{H,R} K^{2m} \quad (11)$$

Y la elevación extrema del punto más caliente por encima del aceite máximo está dada por la eq. 12:

$$\Delta\theta_{H,U} = \Delta\theta_{H,R} K_u^{2m} \quad (12)$$

Y el valor nominal del punto más caliente sobre el aceite máximo viene dado por la eq. 13:

$$\Delta\theta_{H,R} = \frac{\Delta\theta_H}{A.R} - \Delta\theta_{TO,R} \quad (13)$$

2.10. EXPONENTES UTILIZADOS EN LAS ECUACIONES DE TEMPERATURA

Los exponentes sugeridos para ser utilizados en las ecuaciones de elevación de temperatura son los indicados en [2], tabla 5.

2.11. AJUSTE DE LOS DATOS DE TEST PARA DIFERENTES POSICIONES DE TAP

Si se desea ajustar los datos de los informes de tests para la operación en una posición de tap sin carga distinta a la que se reportó el ensayo de calentamiento, pueden usarse las ecuaciones 14, 15 y 16 para obtener los datos ajustados.

$$\Delta\theta'_{TO,R} = \Delta\theta_{TO,R} \left[\frac{P'_{T,R}}{P_{T,R}} \right]^n \quad (14)$$

Elevación de temperatura del punto más caliente:

$$\Delta\theta'_{H,R} = \Delta\theta_{H,R} \left[\frac{I'_{R}}{I_{R}} \right]^{2n} \quad (15)$$

Finalmente, la constante de tiempo con carga nominal de tap es:

$$\tau_{TO,R} = \frac{C\Delta\theta'_{TO,R}}{P'_{T,R}} \quad (16)$$

2.12. CARGA DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA

Como dijimos al comienzo, toda sobrecarga puede exponer el aislamiento a temperaturas mayores a las especificadas por el fabricante.

La IEEE Std C57.91-1995 ha definido 4 tipos diferentes de condiciones de carga, por encima de las especificaciones de placa.

2.13. LIMITACIONES DE TEMPERATURA

En la tabla 6 de [2] se muestran los valores sugeridos por la IEEE Std C57.91.1995 para los límites de temperaturas y cargas para sobrecargar un transformador por encima de los límites de placa.

En la tabla 7 de [2] se dan valores sugeridos de límites de temperatura que ocasionan una pérdida razonable de vida para los cuatro tipos de carga.

Los límites sugeridos de temperatura que dan una pérdida de vida razonable para los cuatro tipos de carga se dan en la tabla 8 de [2].

2.14. GENERACIÓN DISTRIBUIDA Y VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

La generación distribuida es la energía directamente conectada a la red de distribución o al consumidor, utilizando diversas fuentes de energía [11].

La integración de distintas áreas o disciplinas es muy importante, como el transporte y la electricidad con el fin de lograr un desarrollo sostenible en el tiempo representando un gran reto para los sistemas de potencia y distribución [12].

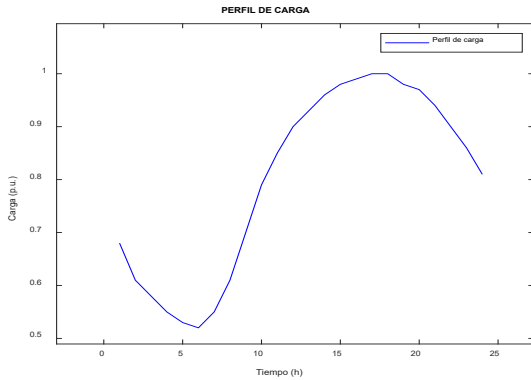
La posibilidad de disponer fuentes nuevas de energías en la red de distribución, además de la inclusión masiva de vehículos eléctricos genera nuevos desafíos en el diseño, operación y gestión del transformador de distribución, requiere de una modernización de las redes eléctricas [13].

2.15. IMPACTO DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS A LA RED

Entre los impactos más significativos desde la red eléctrica esta las caídas de tensión, congestión de líneas e incremento de pérdidas en el sistema de distribución, sobre-

Figura 2.

Perfil de carga en estado normal de operación



cargas en el transformador y modificación de la curva de demanda [14].

El envejecimiento acelerado del transformador por carga de vehículos eléctricos depende del aislamiento, el mismo que tiene una estrecha relación con la temperatura de operación, al efectuar su incorporación su nivel de carga va aumentando, hasta superar su límite de potencia y si no se tiene el acompañamiento de un sistema adecuado de gestión de recarga puede ocasionar además de otros elementos del sistema el porcentaje de pérdida de vida útil del transformador [15].

2.16. IMPACTO EN ESCENARIOS DE MOVILIDAD ELÉCTRICA

Los vehículos eléctricos prometen un campo de investigación exhaustiva en la ingeniería, integrado al acrecentamiento de consumo, en países en vías de desarrollo como países del sur de Asia se aprecia el uso de vehículos eléctricos de baterías similares a la bicicleta eléctrica y el auto Rick Shaw [16].

Debido a la gran demanda de consumo eléctrico que esto genera y la rápida inserción de esta tecnología, se recargan con frecuencia desde las conexiones domésticas, debido a que las estaciones de carga no son suficientes, esto hace que existan mayores pérdidas en todo el sistema eléctrico y disminuya la vida útil del transformador [16].

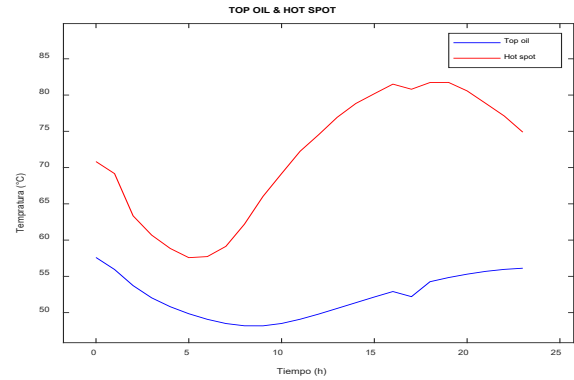
Estudios indican soluciones técnicas de optimización difusa que proporcionan una tasa de carga diferente para estas condiciones, esto ahorra energía y hace que el negocio de vehículos eléctricos sea más rentable para el propietario.

Mientras que en países del sur del continente europeo consideran que el reducir energía primaria, contaminantes atmosféricos tóxicos al aire y gases de efecto invernadero es un reto que tiene la sociedad y es uno de los problemas graves que afectan a la humanidad [17].

El incremento en la utilización de combustibles alternos como biodiésel o electricidad y la última generación en motores de vehículos eléctricos representan una estrategia importante de emisiones y consumos [18].

Figura 3.

Curvas de temperatura top oil y hot spot en estado normal de operación



Se asegura que la combinación de producción de energías renovables y la inserción de vehículos eléctricos desempeñan un papel importante en esta perspectiva.

Entonces se plantea la electromovilidad como un tema de prioridad, esto obliga al despliegue de puntos de carga a lo largo y ancho de la región y, con el fin de tener una perspectiva futura, se debe adoptar ciclos de prueba para vehículos ligeros y así derivar la función de consumo, además de prever la importancia en investigación de escenarios futuros de movilidad de vehículos eléctricos con la finalidad de reubicar demandas de energía y así evitar que se supere la capacidad de la red, sobre todo la capacidad del transformador.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la resolución de cálculo de temperaturas se utiliza el software Matlab, mediante código se procede a plasmar las diferentes ecuaciones mostradas en teoría y mostrar los resultados y gráficos correspondientes a cada uno de ellos.

Siguiendo la metodología descrita anteriormente, en esta sección se presentan los resultados de cálculo e ilustraciones de los incrementos de carga de acuerdo al ejemplo mostrado en la norma IEEE C57.91-1995.

La normativa contempla el perfil de carga de un transformador de 187 MVA que esté sujeto a varios cambios de carga para las siguientes condiciones de operación:

- Carga normal (Normal load)
- Carga superior al valor nominal (PLBN)
- Carga de emergencia de largo plazo (LTE)
- Carga de emergencia de corto plazo (STE)

3.1. CARGA NORMAL (NORMAL LOAD)

Con base en el perfil de carga entregado por la normativa IEEE C57.91-1995 Tabla C.1, se obtienen los siguientes datos (ver Tabla 1).

La figura 2 muestra el perfil de carga en estado normal de operación, caso base de estudio inicial que se toma

Tabla 1.

Ciclos de carga y aumentos de temperatura para un transformador de 187 MVA

CARGA NORMAL						PLBN				LTE				STE			
Hora	Carga (p.u.)	$\Delta \Theta_{to}$ (°C)	$\Delta \Theta_{to}$ (°C)	$\Delta \Theta_H$ (°C)	Θ_H (°C)	Carga (p.u.)	$\Delta \Theta_{to}$ (°C)	$\Delta \Theta_H$ (°C)	Θ_H (°C)	Carga (p.u.)	$\Delta \Theta_{to}$ (°C)	$\Delta \Theta_H$ (°C)	Θ_H (°C)	Carga (p.u.)	$\Delta \Theta_{to}$ (°C)	$\Delta \Theta_H$ (°C)	Θ_H (°C)
1	0,68	29,94	29,94	13,22	73,20	0,86	43,78	21,15	94,90	0,86	45,23	21,15	96,40	0,86	45,54	21,15	96,70
2	0,61	27,42	27,42	10,64	68,10	0,77	39,85	16,96	86,80	0,77	40,94	16,96	87,90	0,77	41,17	16,96	88,10
3	0,58	24,86	24,86	9,62	64,50	0,73	35,82	15,24	81,10	0,73	36,63	15,24	81,90	0,73	36,81	15,24	82,10
4	0,55	22,67	22,67	8,65	61,30	0,69	32,35	13,62	76,00	0,69	32,96	13,62	76,60	0,69	33,09	13,62	76,70
5	0,53	20,78	20,78	8,03	58,80	0,67	29,33	12,84	72,20	0,67	29,78	12,84	72,60	0,67	29,88	12,84	72,70
6	0,52	19,20	19,20	7,73	56,90	0,66	26,86	12,46	69,30	0,66	27,20	12,46	69,70	0,66	27,27	12,46	69,70
6	0,52	18,14	19,20	7,73	56,90	0,66	26,86	12,46	69,30	0,66	26,86	12,46	69,30	0,66	26,86	12,46	69,30
7	0,55	17,14	17,94	8,65	56,60	0,69	24,91	13,62	68,50	0,69	24,91	13,62	68,50	0,69	24,91	13,62	68,50
8	0,61	16,63	17,23	10,63	57,90	0,77	23,75	16,96	70,70	0,77	23,75	16,96	70,70	0,77	23,75	16,96	70,70
9	0,70	16,76	17,21	14,01	61,20	0,88	23,74	22,15	75,90	0,88	23,74	22,15	75,90	0,88	23,74	22,15	75,90
10	0,79	17,74	18,07	17,85	65,90	1,00	25,08	28,60	83,70	1,00	25,08	28,60	83,70	1,00	25,08	28,60	83,70
11	0,85	19,47	19,71	20,66	70,40	1,07	27,76	32,74	90,50	1,07	17,76	32,74	90,50	1,07	27,76	32,74	90,50
12	0,90	21,49	21,67	23,17	74,80	1,13	30,85	36,52	97,40	1,13	30,85	36,52	97,40	1,13	30,85	36,52	97,40
13	0,93	23,66	23,79	24,74	78,50	1,17	34,14	39,15	103,30	1,29	34,14	39,15	103,30	1,92	34,14	39,15	103,30
14	0,96	25,69	25,79	26,36	82,20	1,21	37,29	41,87	109,20	1,33	39,48	50,59	120,10	1,33	46,76	50,59	127,40
15	0,98	27,64	27,71	27,47	85,20	1,23	40,36	43,27	113,60	1,36	44,27	52,90	127,20	1,36	49,73	52,90	132,60
16	0,99	29,39	29,44	28,03	87,50	1,25	43,03	44,69	117,70	1,38	48,46	54,47	132,90	1,38	52,55	54,47	137,00
17	1,00	30,84	30,88	28,60	89,50	1,26	45,40	45,41	120,80	1,39	52,01	55,26	137,30	1,39	55,07	55,26	140,30
18	1,00	32,08	32,11	28,60	90,70	1,26	47,36	45,41	122,80	1,39	54,87	55,26	140,10	1,39	57,17	55,26	142,40
19	0,98	33,01	33,03	27,47	90,50	1,23	48,83	43,27	122,10	1,23	57,02	55,26	142,30	1,23	58,74	55,26	144,00
20	0,97	33,41	33,43	26,91	90,30	1,22	49,38	42,57	122,00	1,22	55,52	42,57	128,10	1,22	56,81	42,57	129,40
21	0,94	33,57	33,58	25,27	88,90	1,18	49,61	39,82	119,40	1,18	54,21	39,82	134,00	1,18	55,18	39,82	125,00
22	0,90	33,26	33,27	23,17	86,40	1,13	49,07	36,52	115,60	1,13	52,52	36,52	119,00	1,13	53,25	36,52	119,80
23	0,86	32,49	32,49	21,15	83,60	1,08	47,81	33,36	111,20	1,08	50,39	33,36	113,80	1,08	50,94	33,36	114,30
24	0,81	31,39	31,39	18,76	80,20	1,02	46,04	29,76	105,80	1,02	47,98	29,76	107,70	1,02	48,39	29,76	108,20

Nota. [3].

en cuenta para la incorporación de generación distribuida con paneles fotovoltaicos y carga de vehículos eléctricos (ver Figura 2).

Utilizando las ecuaciones mencionadas anteriormente en la sección cálculo de temperaturas se procede, mediante código realizado en programación Matlab, a calcular las temperaturas top oil y hot spot para carga normal, obteniendo los siguientes resultados para una temperatura ambiente de 30 °C (ver Tabla 2) top oil & hot spot - carga normal.

Además, se visualiza (ver Figura 3) las curvas de temperatura top oil y hot spot calculadas para la carga normal de operación.

3.2. CARGA SUPERIOR AL VALOR NOMINAL (PLBN)

En la figura 4 se muestra el perfil de carga en base al incremento de carga al valor nominal (ver Figura 4).

De la misma forma, se procede al respectivo cálculo, correspondiente al perfil de carga entregado para este caso de estudio, obteniendo los siguientes resultados (ver

Tabla 2) top oil & hot spot - PLBN.

En la figura 5 se puede apreciar el incremento de temperatura considerable por encima de los 100 °C en hot spot y cercano a los 70 °C en top oil debido al incremento de carga prolongado de 12 horas superior a la carga 1 p.u. del caso de estudio (ver Figura 5).

3.3. CARGA DE EMERGENCIA DE LARGO PLAZO (LTE)

En la figura 6 se observa el incremento de carga de largo plazo de aproximadamente de siete horas menor al caso PLBN (ver Figura 6).

De la misma forma, se procede al respectivo cálculo correspondiente al perfil de carga entregado para este caso de estudio, obteniendo los siguientes resultados (ver Tabla 2) top oil & hot spot - LTE.

Podemos visualizar en la figura 7 las temperaturas de hot spot aumentan su valor al caso PLBN, pero disminuye el tiempo a 4 horas los valores picos de temperatura (ver Figura 7).

Figura 4.
Perfil de carga superior al valor nominal (PLBN)

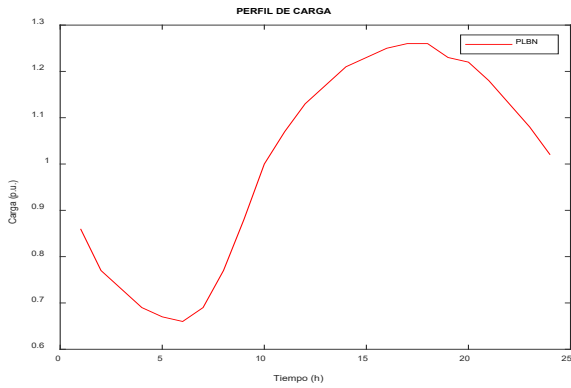


Figura 5.
Curvas de temperatura top oil y hot spot en estado de carga superior al valor nominal

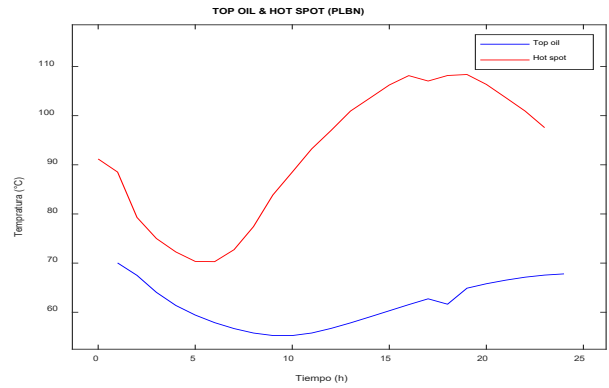


Figura 6.
Perfil de carga de emergencia de largo plazo (LTE)

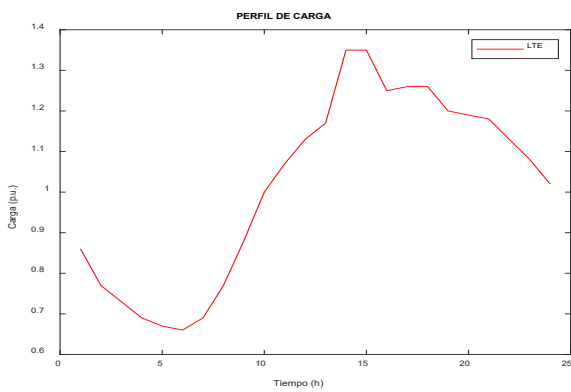


Figura 7.
Curvas de temperatura top oil y hot spot en estado de carga de emergencia de largo plazo nominal

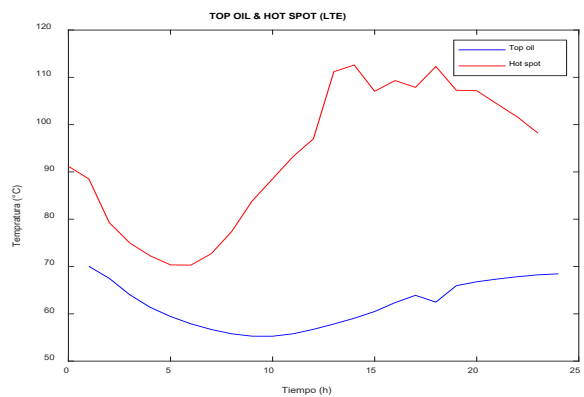


Figura 8.
Perfil de carga de emergencia de corto plazo (STE)

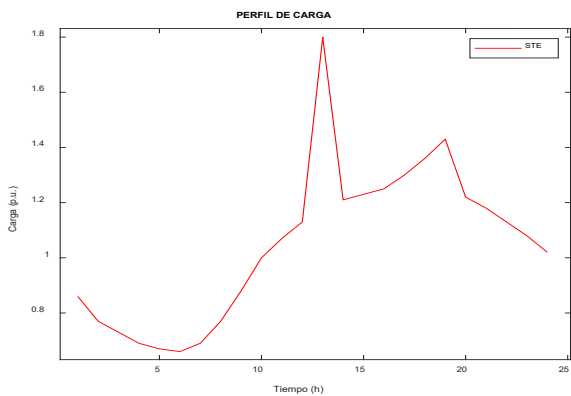
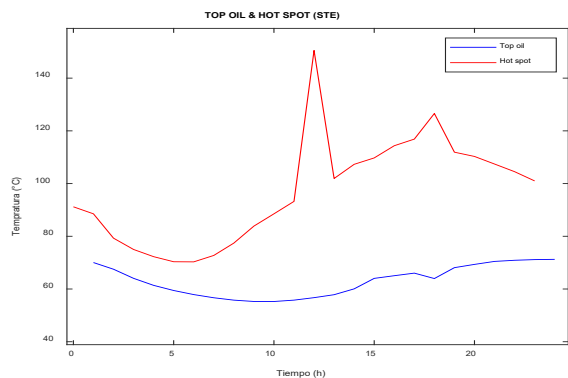


Figura 9.
Curvas de temperatura top oil y hot spot en estado de carga de emergencia de corto plazo



3.4. CARGA DE EMERGENCIA DE CORTO PLAZO (STE)

En la figura 8 se observa el incremento de carga en corto plazo provocando un pico en la curva de perfil de carga (ver Figura 8).

Los resultados obtenidos de cálculo se muestran (ver Tabla 2) top oil & hot spot - STE.

En la figura 9 se observa un drástico pico de aumento de temperatura por corto tiempo que sobrepasa a los casos de estudio vistos hasta el momento con un punto

máximo superior a los 150 °C y luego regresa a valores que se presentan al caso LTE (ver Figura 9).

3.5. INCORPORACIÓN DE CARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

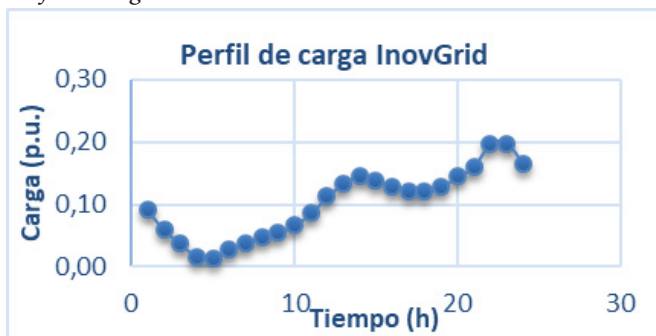
El siguiente caso de estudio, es el incremento de carga mediante la incorporación de vehículos eléctricos y la generación distribuida mediante paneles fotovoltaicos. La nue-

Tabla 2.

Cálculo de temperaturas top oil y hot spot con programación Matlab para el perfil de carga de la tabla C.1 - IEEE C57.91-1995

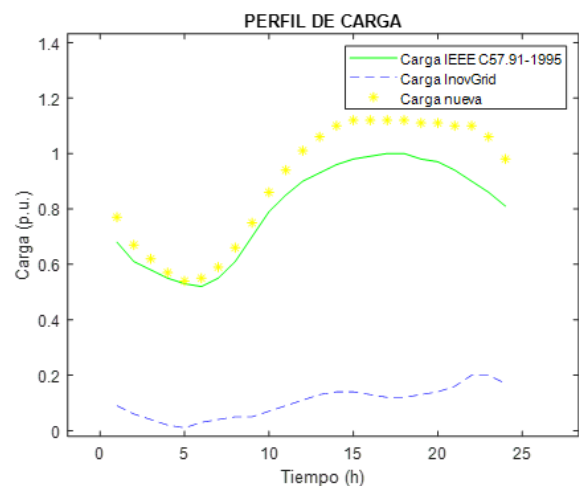
TOP OIL & HOT SPOT - CARGA NORMAL				TOP OIL & HOT SPOT - PLBN			TOP OIL & HOT SPOT - LTE			TOP OIL & HOT SPOT - STE		
Hora	Carga (p.u.)	$\Delta\Theta_H$ (°C)	Θ_H (°C)	Carga (p.u.)	$\Delta\Theta_H$ (°C)	Θ_H (°C)	Carga (p.u.)	$\Delta\Theta_H$ (°C)	Θ_H (°C)	Carga (p.u.)	$\Delta\Theta_H$ (°C)	Θ_H (°C)
6	0.52	49.85	57.58	0.66	57.89	70.34	0.66	57.89	70.34	0.66	57.89	70.34
7	0.55	49.08	57.73	0.69	56.68	70.3	0.69	56.68	70.3	0.69	56.68	70.3
8	0.61	48.5	59.14	0.77	55.78	72.73	0.77	55.78	72.73	0.77	55.78	72.73
9	0.7	48.18	62.2	0.88	55.27	77.42	0.88	55.27	77.42	0.88	55.27	77.42
10	0.79	48.18	66.03	1	55.26	83.86	1	55.26	83.86	1	55.26	83.86
11	0.85	48.5	69.17	1.07	55.78	88.52	1.07	55.78	88.52	1.07	55.78	88.52
12	0.9	49.09	72.25	1.13	56.72	93.24	1.13	56.72	93.24	1.13	56.72	93.24
13	0.93	49.8	74.54	1.17	57.84	96.99	1.29	57.84	96.99	1.92	57.84	150.5
14	0.96	50.58	76.94	1.21	59.06	100.94	1.33	59.06	111.19	1.33	60.06	101.93
15	0.98	51.37	78.84	1.23	60.31	103.58	1.36	60.48	112.61	1.36	64.03	107.3
16	0.99	52.15	80.19	1.25	61.55	106.24	1.38	62.36	107.05	1.38	65.04	109.73
17	1	52.91	81.51	1.26	62.74	108.14	1.39	63.91	109.32	1.39	66.02	114.36
18	1	52.2	80.8	1.26	61.64	107.04	1.39	62.47	107.88	1.39	63.97	116.87
19	0.98	54.26	81.73	1.23	64.9	108.17	1.23	65.95	112.3	1.23	68.1	126.59
20	0.97	54.83	81.74	1.22	65.8	108.37	1.22	66.77	107.27	1.22	69.34	111.91
21	0.94	55.3	80.57	1.18	66.53	106.36	1.18	67.35	107.18	1.18	70.47	110.29
22	0.9	55.69	78.86	1.13	67.14	103.66	1.13	67.85	104.37	1.13	70.9	107.42
23	0.86	55.96	77.12	1.08	67.56	100.92	1.08	68.24	101.6	1.08	71.16	104.51
24	0.81	56.12	74.89	1.02	67.81	97.56	1.02	68.46	98.21	1.02	71.25	101.01
1	0.68	57.6	70.83	0.86	70.03	91.19	0.86	70.03	91.19	0.86	70.03	91.19
2	0.61	55.95	69.17	0.77	67.5	88.52	0.77	67.5	88.52	0.77	67.5	88.52
3	0.58	53.72	63.34	0.73	64.05	79.29	0.73	64.05	79.29	0.73	64.05	79.29
4	0.55	52.04	60.69	0.69	61.38	75	0.69	61.38	75	0.69	61.38	75
5	0.53	50.82	58.85	0.67	59.43	72.27	0.67	59.43	72.27	0.67	59.43	72.27

Figura 10.
Perfil de carga InovGrid



Fuente. [2].

Figura 11.
Perfil de carga InovGrid



va carga se obtiene del proyecto InovGrid de Portugal, el perfil de carga se visualiza en la figura 10 (ver Figura 10).

Incrementando la carga InovGrid más la de estudio inicial se tiene el siguiente aumento de perfil de carga

para el análisis de temperatura del transformador de 187 MVA (ver Figura 11).

Como se observa en la figura 11, el perfil de carga tiene casi el mismo escenario al de estudio inicial. En base al

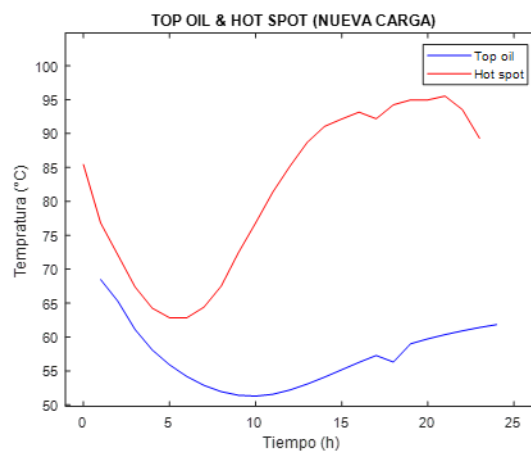
Tabla 3.

Cálculo de temperatura top oil & hot spot al nuevo perfil de carga con integración de generación distribuida y carga de vehículos eléctricos

TOP OIL & HOT SPOT - NUEVA CARGA				
Hora	Carga (p.u.)	Θ_A (°C)	$\Delta\Theta_{to}$ (°C)	$\Delta\Theta_H$ (°C)
6	0.55	30.00	54.19	62.85
7	0.59	30.00	52.87	62.83
8	0.66	30.00	51.95	64.41
9	0.75	30.00	51.42	67.51
10	0.86	30.00	51.29	72.44
11	0.94	30.00	51.56	76.83
12	1.01	30.00	52.20	81.37
13	1.06	30.00	53.07	85.21
14	1.10	30.00	54.09	88.70
15	1.12	30.00	55.18	91.05
16	1.12	30.00	56.26	92.14
17	1.12	30.00	57.28	93.16
18	1.12	30.00	56.31	92.18
19	1.11	30.00	59.00	94.24
20	1.11	30.00	59.72	94.96
21	1.10	30.00	60.35	94.96
22	1.10	30.00	60.92	95.52
23	1.06	30.00	61.41	93.55
24	0.98	30.00	61.84	89.30
1	0.77	30.00	68.48	85.44
2	0.67	30.00	65.28	76.83
3	0.62	30.00	61.11	72.11
4	0.57	30.00	58.10	67.39
5	0.54	30.00	55.92	64.25

Figura 12.

Perfil de carga InovGrid



incremento de nueva carga se analiza el comportamiento de temperatura que sufre el transformador (ver Tabla 3). Las curvas de temperatura top oil y hot spot sobrepasan el valor del caso de estudio y esto es aceptable debido al aumento de nueva carga de vehículos eléctricos y generación distribuida con paneles fotovoltaicos (ver Figura 12).

4. CONCLUSIÓN

Se realiza el análisis de cálculo de temperatura con referencia a la norma IEEE C57.91-1995, bajo el perfil de carga de caso inicial se pudo evidenciar que el transformador de 187 MVA se encuentra al 100% de la cargabilidad en el horario de 17:00 a 18:00, donde la temperatura

top oil alcanza los 58 °C y la temperatura hot spot los 82 °C, en esas condiciones el transformador no presenta sobrecargas y su vida útil no es afectada al tener un período de recuperación de 23 horas al bajar su cargabilidad y temperatura, cabe señalar que el transformador deberá tener refrigeración de aceite forzado (FOA) para alcanzar entregar los 187 MVA máximos de capacidad instalada.

Para el cálculo de temperaturas se utiliza el software Matlab, mediante código se pudo evidenciar que el caso de estudio más relevante con mayores temperaturas fue el de carga de emergencia en corto plazo alcanzando una cargabilidad del 180% en el incremento de carga instantáneo con temperaturas de hot spot de 150 °C y manteniendo valores normales en top oil debido a que solo es un incremento de la carga por un tiempo corto, en estos casos se evidencia un aumento excesivo y se debe tomar en cuenta que solo puede ser por tiempos muy cortos de sobrecarga, debido a que el uso prolongado de sobrecarga puede afectar la vida útil del transformador.

La implementación de nueva carga de vehículos eléctricos y generación distribuida con paneles fotovoltaicos, se procede al tomar el perfil de carga del proyecto InovGrid de Portugal sumado al perfil de carga de la tabla C.1 de la normativa IEEE C57.91-1995, dando como resultado un aumento de la cargabilidad del transformador hasta en un 110% debido a que el perfil de carga InovGrid coincide con el perfil de carga de caso inicial, cabe mencionar que la carga nueva tiene una demanda máxima de 1 hora de 22:00 a 23:00, en consecuencia, el transformador se mantendrá en condiciones normales de operación al contar con un tiempo restante de recuperación a fin de que no sea afectada su vida útil.

REFERENCIAS

- [1] A. Naderian, P. Patabbi and L. Lamarre, «Improving the assessment of remaining life of service aged power transformers», Electrical Insulation Conference, Calgary, Alberta, Canada, junio, 2019.
- [2] IEEE Std C57.91-1995, «IEEE Guide for loading mineral-oil-immersed transformers», Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, Nueva York, 1996.
- [3] IEEE PC57.119 (P838) (D13.1/1-29-96), Draft recommended practice for performing temperature rise tests on oil-immersed power transformers at loads beyond nameplate rating5.
- [4] A. Messias, «The inovgrid project: distribution network evolution as a decisive answer to the new challenges in the electrical», Sector. Edp Distribuição, 2009.
- [5] I. Juárez, V. Larind, N. Vásquez, «Estudio de la vida útil del transformador de potencia en servicio», Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Eléctrica, El Salvador, 2018.
- [6] J. Castro, G. Gómez, O. Mata, «Índice de estimación de la vida residual en transformadores eléctricos de potencia basado en condición», *Tecnología en Marcha*, vol. 35, n.º 4, octubre-diciembre, 2022, pp. 71-83
- [7] Guide for loading mineral-oil-immersed transformers and step-voltage regulators, IEEE Standard C57.91, 2011.
- [8] K. Lingming, M. Wenxiong, G. Xinyuan, L. Tian, Z. Fanke, C. Haitao, «Application of insulation aging evaluation method for distribution transformers in practice», *IEEE Xplore*, 2021.
- [9] IEEE Guide for loading mineral-oil-immersed transformers and step voltage regulators, IEEE Standard C57.91, 2011.
- [10] ASTM D3487-82a, Standard specification for mineral oil in electrical apparatus.
- [11] J. Chávez, «Análisis de generación distribuida a través del diseño de un sistema fotovoltaico conectado al AMT chs031-Hidrandina U. N. Chimbote», Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, Perú, 2022.
- [12] Pérez-Arriaga, I., Knittle, C., «Utility of the future: an MIT energy initiative response to an industry in transition», MIT Energy Initiative, Cambridge, MA, USA, 2016.
- [13] IEA, «Global ev outlook: to electric mobility», IEA: París, France, 2019. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>.
- [14] A. Bazurto, J. Zuñiga, D. Echeverría, C. Lozano, «Perspectiva del transformador de distribución en redes eléctricas con alta penetración de generación distribuida y vehículos eléctricos», Universidad Militar de Nueva Granada, vol. 26, n.º 2, 2016, pp. 35-48.
- [15] Trovão, J. and Pereirinha, P. (2011). Electric vehicles chargers characterization: Load demand and harmonic distortion. En 11th International Conference on Electrical Power Quality and Utilization, Lisbon, pp. 1-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/epqu.2011.6128871>
- [16] A. K. Karmaker, M. R. Ahmed, «Fuzzy logic based optimization for electric vehicle charging station in Bangladesh», 1st International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology 2019, pp.1-5. IEEE.
- [17] M. Seredynski and F. Viti, «A survey of cooperative ITS for next generation public transport systems», in Proc. 19th Int. Conf. Intell. Transp. Syst. (ITSC), nov. 2016, pp. 1229-1234.
- [18] E. L. Karfopoulos, I. Athanasoglou, and N. Hatziargyriou, «Efficient integration of electric vehicles in distribution networks with high share of renewable energy sources», in Proc. Medit. Conf. Power Generat., Transmission, Distrib. Energy Convers. (MedPower), 2016, pp. 1-7.

Normas para publicar en la revista Ingenio

TÍTULOS EN DOS IDIOMAS

1. Título del artículo en tipografía *Times New Roman* tamaño 14 (cada palabra con mayúscula).

2. Título del artículo en inglés en tipografía *Times New Roman* tamaño 11.

Ejemplos:

Lorem Ipsum Dolor Sit Amet, Consectetur Adipiscing Alit. Curabitur Vitae Varius Magna. Maecenas Euismod
Rutrum Libero ac Asclerisque

*Lorem Ipsum Fusce Viverra Massa Facilisis, Aliquet ex Venenatis. Integer at Luctus Nunc. Nunc Dignissim a
eros Sit Amet Sagittis.*

INFORMACIÓN DE AUTORES, USO SUPERÍNDICE PARA IDENTIFICACIÓN

1. Uso del superíndice para identificación
2. Institución ante la cual se acredita el autor.
3. Dirección electrónica
4. *Open Research and Contributor ID* (ORCID)

Ejemplo:

Lorem I.;¹ Ipsum L.²

¹Universidad Lorem Ipsum (Ecuador)

loremipsum@loremipsum.org

¹Universidad Lorem Ipsum (Ecuador)

loremipsum@loremipsum.org

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

1. En fuente tamaño 9
2. (Información colocada por el editor)

<p>Información del artículo</p> <p>Recibido: Lorem ipsum 2021</p> <p>Aceptado: Lorem ipsum 2021</p>

EXTENSIÓN DEL DOCUMENTO

1. 10.000 palabras incluidas las referencias

RESUMEN

1. 100-150 palabras

PALABRAS CLAVE

1. Justo después del resumen, mínimo cuatro.

Ejemplo:

Palabras clave: lorem, ipsum, consectetur adipiscing.

ABSTRACT

1. 50-100 words

KEYWORDS

1. Just after the abstract, minimum four.

Example:

Keywords: lorem, ipsum, consectetur adipiscing.

TEXTO PRINCIPAL

1. Texto en *Microsoft Word*
2. Columna simple
3. *Times New Roman* tamaño 11
4. Espaciado de 1,5

FIGURAS Y ECUACIONES EN EL TEXTO

- Tabla 1, Tablas 1 y 2, Tablas 1 a 3
- Fig. 1, Figs. 1 y 2, las Figs. 1 a 3
- Eq. 1, Eqs. 1 y 2, Eqs. 1 a 3

ECUACIONES

1. Úse el editor de ecuaciones de Microsoft.
2. Número de identificación de la ecuación alineación siempre a la derecha.

Ejemplo:

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} * 100 [\%] \quad (1)$$

ESTILO Y ESTRUCTURA DE LOS ENCABEZADOS

1. Solo hasta 4 niveles y 3 subniveles.

Ejemplo:

1. Lorem ipsum sit amet
2. Lorem ipsum maecenas euismod
 - 2.1 Lorem ipsum rutrum libero
 - 2.2 Lorem ipsum accumsan sagittis
 - 2.2.1 Lorem ipsum egestas tristique

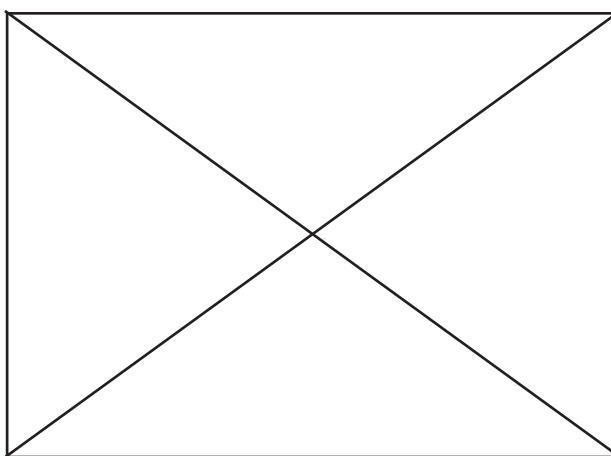
3. Lorem ipsum vestibulum auctor
- 3.1 Lorem ipsum vulputate consectetur
- 3.2 Lorem ipsum scelerisque turpis
4. Lorem ipsum bibendum tincidunt

FIGURAS Y TABLAS

1. Las figuras y tablas se agregarán al final del archivo del manuscrito; no se agregarán al texto principal. La ubicación de las figuras y tablas se exhibirá insertando sus subtítulos en el texto principal. Una vez aceptado, los archivos de figuras de alta resolución (más de 300 *dpi*, un archivo por figura) se enviarán al editor.

Figura 1.

Lorem ipsum dolor sit amet.



2. Los datos dentro de la tabla siempre alineación derecha
 3. Alineado a la izquierda, usar normas APA 7ma. para la elaboración de la tabla.
- Ejemplo:

Tabla 1.

Lorem ipsum dolor sit amet

<i>LOREM IPSUM</i>			
	<i>LOREM IPSUM SIT</i>	<i>% LOREM</i>	<i>% IPSUM</i>
Lorem ipsum	Lorem ipsum	123	123
	Lorem ipsum	123	123
	Lorem ipsum	123	123
	Lorem ipsum	123	123
Lorem ipsum	Lorem ipsum	123	123
	Lorem ipsum	123	123
	Lorem ipsum	123	123
	Lorem ipsum	123	123

Nota: Lorem ipsum consectetur. Fuente. Lorem ipsum suspendisse quis dictum velit [1].

4. Si las imágenes o tablas tienen fuente se coloca el número de su referencia entre corchetes.

Ejemplo:

Fuente. Lorem ipsum suspendisse quis dictum velit [1].

REFERENCIAS

1. Las referencias se enumerarán por orden de citación en el texto (IEEE).

Ejemplo:

[1] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur vitae varius magna. Maecenas euismod rutrum libero ac scelerisque. In eu tortor nibh. Nulla hendrerit augue accumsan sagittis scelerisque.

[2] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur vitae varius magna. Maecenas euismod rutrum libero ac scelerisque. In eu tortor nibh. Nulla hendrerit augue accumsan sagittis scelerisque.

[3] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur vitae varius magna. Maecenas euismod rutrum libero ac scelerisque. In eu tortor nibh. Nulla hendrerit augue accumsan sagittis scelerisque.

CITAS Y REFERENCIACIÓN

1. En el texto, cite cada referencia por número.

Ejemplo:

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur vitae varius magna. Maecenas euismod rutrum libero ac scelerisque. Etiam mattis, ante ac pretium molestie, dolor mauris sagittis dolor, et pretium arcu dui at ipsum. Morbi egetas tristique quam. Vestibulum sit amet nisl sit amet enim vestibulum auctor por Suzana *et al.* [1].

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur vitae varius magna. Maecenas euismod rutrum libero ac scelerisque [1].

2. El estilo dependerá del tipo de referencia, pero no es necesario clasificarlo en los tipos, simplemente enúmerese por orden de citación en el texto.

Ejemplos:

ARTÍCULOS

[1] Couhert C, Salvador S, Commandré J-M. Impacto de la torrefacción en la producción de syngas a partir de madera. *Fuel* 2009; 88: 2286-2290.

CONFERENCIAS

[1] Suzana Y, Mohamad T A, Uemura Y, Anita R, Lukman I, Shuit S H, Tan K T, Lee K T. Revisión sobre la utilización de la biomasa agrícola como fuente de energía en Malasia. En: *Actas del 16° Simposio regional de la ASEAN sobre ingeniería química*, 1 y 2 de diciembre de 2009, Manila, Filipinas, págs. 86-89.

SITIO WEB

[1] MPOB (Junta de Aceite de Palma de Malasia), 2008, «6.8 Productores principales mundiales de aceite de palma: 1999 - 2008». Recuperado el 28 de enero de 2010 de http://econ.mpob.gov.my/economy/annual/stat2008/ei_world08.htm.

LIBRO

[1] Corley R H V, Tinker P B. *La palma aceitera*. 4.^a ed. Oxford: Blackwell Science; 2003, p. 328.

3. Citar correctamente, pues la información de la fuente se verificará en los buscadores especializados de contenido.

ARBITRAJE

1. REVISIONES INICIALES. Todos los manuscritos enviados y recibidos por la Revista Ingenio serán revisados por el editor interno para determinar si están preparados adecuadamente y si siguen las políticas éticas de la revista. Los manuscritos que no se ajusten a la política de ética de la revista o que no cumplan con los estándares de la revista serán rechazados antes de la revisión por pares. Los manuscritos que no estén preparados adecuadamente serán devueltos a los autores para su revisión y reenvío. Después de estas verificaciones, el editor determinará si el manuscrito se ajusta al alcance de la revista y si es científicamente sólido. En esta etapa, no se emitirá ningún juicio sobre el impacto potencial del trabajo. Las decisiones de rechazo en esta etapa serán verificadas por el editor. El número de autores o firmantes no deber ser superior a cinco, considerando al primero como autor principal del artículo. Dicho manuscrito será un documento formal, público, controlado y debe cumplir con los criterios claves de redacción.

2. REVISIÓN POR PARES. Una vez que un manuscrito pase las comprobaciones iniciales, se asignará al menos a dos expertos independientes para su revisión por pares. Se aplica una revisión a doble ciego, donde los revisores no conocen las identidades de los autores y viceversa. Los comentarios de la revisión por pares son confidenciales y solo se divulgarán con el acuerdo expreso del revisor.

En el caso de presentaciones regulares, los editores asistentes internos invitarán a expertos, acorde a las recomendaciones del editor. Estos expertos también pueden incluir miembros del consejo editorial y editores invitados de la revista. También se pueden considerar los posibles revisores sugeridos por los autores siempre y cuando no hayan trabajado ni colaborado con los autores o coautores los últimos cinco años.

3. DECISIÓN EDITORIAL Y REVISIÓN. Todos los artículos, revisiones y comunicaciones publicados en la revista ingenio pasan por el proceso de revisión por pares y reciben al menos dos rúbricas. El editor comunicará la decisión de los pares, que será una de las siguientes:

[a] *Aceptar luego de realizar correcciones menores* (en principio, el documento se acepta después de la revisión basada en los comentarios del revisor. Los autores tienen quince días para revisiones menores).

[b] *Reconsiderar después de realizar correcciones importantes* (la aceptación del manuscrito dependería de las revisiones. El autor debe proporcionar una respuesta punto por punto o proporcionar una refutación si algunos de los comentarios del revisor no se pueden revisar. Por lo general, solo se permite una ronda de revisiones importantes. Se pedirá a los autores que vuelvan a enviar el artículo revisado dentro de un período de tiempo adecuado, y la versión revisada se devolverá al revisor para obtener más comentarios).

[c] *Rechazar y promover el reenvío* (si se necesita reforzar el método o elementos experimentales adicionales para respaldar las conclusiones, el manuscrito será rechazado y se alentará a los autores a volver a enviar el artículo una vez que se hayan realizado más experimentos).

[d] *Rechazar* (el artículo tiene serios defectos o no hace una contribución significativa original. No se ofrece ninguna oferta de reenvío a la revista).

Todos los comentarios de los revisores deben ser respondidos punto por punto. Cuando los autores no estén de acuerdo con un revisor, deben proporcionar una respuesta clara.

4. APELACIONES DEL AUTOR. Los autores pueden apelar un rechazo enviando un correo electrónico a la Revista Ingenio. La apelación debe proporcionar una justificación detallada, incluidas las respuestas punto por punto a los comentarios de los revisores o del editor. Se le pedirá al consejo editor consultado que dé una recomendación de asesoramiento sobre el manuscrito y puede recomendar la aceptación, una revisión por pares adicional o mantener la decisión de rechazo original. Una decisión de rechazo en esta etapa es definitiva y no se puede revertir.

5. PRODUCCIÓN Y PUBLICACIÓN. Una vez aceptado, el manuscrito se someterá a corrección de estilo profesional, edición, revisión por parte de los autores, correcciones finales, paginación y publicación en el sitio web de la revista acorde a la periodicidad.

ANTIPLAGIO

1. Todos los artículos recibidos por la revista INGENIO serán sometidos a un control antiplagio utilizando diversas herramientas. Analiza los textos en busca de coincidencias gramaticales y orto tipográficas, lo que garantiza que los trabajos sean inéditos.



Esta revista, que
usó tipografía *Minion*
Pro tamaño 11, se terminó de
diagramar para su versión digital
en Editorial Universitaria en el mes de
diciembre de 2022 siendo rector de la
Universidad Central del Ecuador el Dr.
Fernando Sempértgui Ontaneda y
director de Editorial Universitaria
el Prof. Gustavo Pazmiño.

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

Pone a disposición de la comunidad los siguientes servicios:

LABORATORIO DE SANITARIA

Telf: (02) 2542026 Ext: 224



ÁREA DE CAPACITACIÓN INFORMÁTICA

Telf: (02) 2542026 Ext: 246



CENTRO DE INVESTIGACIÓN DEL DISEÑO INDUSTRIAL, INNOVACIÓN Y EMPRENDIMIENTO

Telf: (02) 2542026 Ext: 218



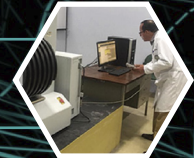
LABORATORIO DE PROTOTIPOS

Telf: (02) 2542026 Ext: 218



LABORATORIO DE HIDRÁULICA

Telf: (02) 2542026 Ext: 223



LABORATORIO DE PAVIMENTOS

Telf: (02) 2550910



DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA

Telf: (02) 2238970



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

Telf: (02) 2522655



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Telf: (02) 2238744 Ext: 211



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA POPULAR - DIP

Telf: (02) 2542026