

Directora general

Ph.D. Lizette Elena Leiva Suero

Directora de Investigación y Desarrollo de la Universidad Técnica de Ambato. Doctora en Ciencias Médicas. Especialista de Medicina Interna. Profesora Titular. Universidad Técnica de Ambato – Ecuador. Email: le.leiva@uta.edu.ec

Editor responsable

Ph.D. Alberto Bustillos

Docente Investigador, Doctor en Biotecnología. Universidad Técnica de Ambato – Ecuador. Email: aa.bustillos@uta.edu.ec

Editor subrogante

Ph.D. Irvin Ricardo Tubón Usca

Docente Investigador, PhD en Ciencias Biotecnológicas y Farmacéuticas, Master en Farmacia, Universidad Técnica de Ambato – Ecuador. Email: ir.tubon@uta.edu.ec

Consejo editorial

Ph.D. Karla Ramirez Estrada, Doctora en Biotecnología, Docente en Universidad Autónoma de Nuevo León - México. Email: Karla.ramirezst@uanl.edu.mx

Ph.D. Verónica Palomera, Doctora en Biomedicina, Universidad de Barcelona - España y Universidad de Guadalajara – México. Email: veronica.pavalos@academicos.udg.mx

Ph.D. Alexander Bernal Cabrera, Especialista en fitopatología, Profesor de la Universidad Central Marta Abreu de las Villas – Cuba. Email: alexanderbc@uclv.edu.cu

PhD. Marco Edel Martínez Montero. Especialista en biotecnología vegetal. Centro de Bioplanta-UNICA – Cuba. Email: cubaplantas@gmail.com

PhD. Margarita Mayacela. Especialista en Ingeniería Civil e Industria. Universidad Técnica de Ambato – Ecuador. Email: cm.mayacela@uta.edu.ec

Ph.D. José Luis Mullo Casillas. Especialista en soldadura y autotrónica. Pontificia Universidad Católica de Chile – Chile. Email: jlmullo@uc.cl

Ph.D. Dafni Mora. Especialista en energías. Universidad Tecnológica de Panamá – Panamá. Email: dafni.mora@utp.ac.pa

Ph.D. Dumar Alexander Jaramillo. Especialista en veterinaria. Universidad de los Llanos – Colombia. Email: dumar.jaramillo@unillanos.edu.co

Ph.D. Luis Apaza Ticona. Especialista en Productos Naturales, Farmacognosia, Fitoquímica, Fitomedicina. Universidad Complutense de Madrid – España. Email: Inapaza@uclm.es

Ph.D. Luis Felipe Contreras. Especialista en Metalurgia y Ciencias de Materiales. Profesor Universidad Técnica de Ambato – Ecuador. Email: lf.contreras@uta.edu.ec

MSc. Sara Patricia de Oliveira Santos. Especialista en Biotecnología - Biología Sintética. Laboratorio Central de Saúde – Brasil. Email: sara_biotec@hotmail.com

Ph.D. Jorge Alexander Briceño. Especialista en química. Profesor Universidad Estatal de Bolívar – Ecuador. Email: jbriceno@ueb.edu.ec

Ph.D. René Faruk Garzozzi Pincay. Especialista en Ciencias Sociales. Universidad Estatal Península de Santa Elena – Ecuador. Email: renegarzozzi@hotmail.com

Ph.D. Mayken Espinoza Andaluz. Especialista en ingeniería. Escuela Politécnica del Litoral -Ecuador. Email: masespin@espol.edu.ec

Ph.D (c). Betzabeth Suquillo. Especialista en Ingeniería Civil. Universidad de Chile – Chile. Email: bsuquillo@ug.uchile.cl

PhD. Leonardo Fabián Rentería. Especialista en robótica y electrónica. Universidad Nacional de Chimborazo – Ecuador. Email: leonardo.renteria@unach.edu.ec

Ph.D (c). Leonardo Freire Santiago. Especialista en Hematología – Proteómica. Laboratorio Central de Saúde – Brasil. Email: leonardofsantiago@gmail.com

Ph.D. Juan Pablo Haro. Especialista en evaluación proyectos de desarrollo y Agricultura Sustentable. Universidad Politécnica de Chimborazo -Ecuador. Email: juanpa_123@hotmail.com

Ph.D. Adriana Beatriz Sánchez. Especialista en Botánica y Fruticultura. Universidad Técnica de Manabí – Ecuador. Email: adriana.sanchez@utm.edu.ec

Ph.D. Elena Hernández Navarro. Médico especialista en Ciencias Pedagógicas. Universidad Técnica de Ambato – Ecuador. Email: ev.hernandez@uta.edu.ec

Dr. Gerardo Fernández. Médico Especialista en pediatría. Universidad Técnica de Ambato – Ecuador. Email: gfernandez@uta.edu.ec



Equipo técnico

Ing. Alexandra Andrade Naranjo.
Ingeniera en Sistemas, Asistente de Investigación de la Dirección de Investigación y Desarrollo DIDE. Universidad Técnica de Ambato – Ecuador. Email: aa.andrade@uta.edu.ec

Dr. Patricio Peñaherrera Zambrano.
Doctor en contabilidad y auditoría. Universidad Técnica de Ambato – Ecuador. Email: ppenaher@uta.edu.ec

MSc Ricardo Xavier Proaño Alulema.
Especialista en Interconectividad de Redes. Universidad Técnica de Ambato – Ecuador. Email: xavierproaño@uta.edu.ec

Ph.D. Víctor Peñafiel Gaibor.
Especialista en sistemas avanzados de hardware y software. Universidad Técnica de Ambato – Ecuador. Email: vi.penafiel@uta.edu.ec

Traducción

Ing. Ruth Viviana Barona Oñate.
Especialista en la Enseñanza del Idioma Inglés como Lengua Extranjera, perito en el Idioma Inglés. Universidad Técnica de Ambato – Ecuador. Email: rv.barona@uta.edu.ec

Revisores

Máster Hector Vistín
Máster Juan Esteban Pazmiño Ortiz
MBA Galo Jiménez. Supralive S.A.
Mg. Lenin Rodríguez. ISTDG
Mg. Marco Días. PICOSA
MSc. Juan Pablo Chacón Sánchez. Ingenio Innova
Ph.D.(c) Edwin Paccha Herrera. Universidad Nacional de Loja / Universidad de Chile
MSc. Abraham Cea. MORONI CEA BUILDING LAB. Chile
Ph.D. Leonardo Fabian Rentería Bustamante. Universidad Nacional de Chimborazo
Ph.D.(c) Betzabeth Jessenia Suquillo Ronquillo. Universidad de Chile
Ing. Juan Carlos López. Blue Stone Energy
Dra. Erica Lorenzo García. Docente e Investigadora. Universidad Estatal Península de Santa Elena
Ing. María Gabriela Soria Pugo. Laboratorio de Ensayo de Materiales – UPS.
Mauricio Cely. Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Albert Leonard Alzate Ramírez. Universidad de Medellín – Colombia
Dr. Mario Alberto Marmolejo Cardona. Universidad del Quindío – Colombia
Ph.D. Rolando Calero Mendoza. Director de Carrera Petróleos- Universidad Estatal Península de Santa Elena
Dr. Francisco Molina Pérez. Universidad de Antioquia – Colombia
Dr. Francisco Molina Pérez. Universidad de Antioquia – Colombia
Miguel Andrés Guerra. Universidad San Francisco de Quito
Darío Londoño. Universidad del Quindío – Colombia
Arq. Gilda Rubira Gómez, MSc. Universidad Estatal Península de Santa Elena
Jaime Edisson Torres Rincón. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Alfredo Ojeda, IC. MSc. Dpto Ing. Civil y Ambiental. Universidad del Norte – Colombia
Ing. Jorge Geovanni Ladines Villamar. Docente en Nivelación y Admisión del Senescyt.
Andres Patricio Cabrera Flor. Universidad del Azuay
Carlos Riveros. Universidad de Antioquia – Colombia
Wilson Cando. Pontificia Universidad Católica del Ecuador
MSc. Fidel V. Chuchuca Aguilar. Universidad Estatal Península de Santa Elena
Ing. Leonardo Cano Saldaña MSc. PhD. Universidad del Quindío – Colombia
MSc. William Valencia Mina. Universidad del Quindío – Colombia
Brenda Reyes Tomalá, Mgt. Universidad Estatal Península de Santa Elena
Ph.D. Pablo Raúl Valle Velasco. Universidad Técnica de Ambato
Mg. Alejandra Marlene Lascano Moreta. Universidad Técnica de Ambato
Mg. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa. Universidad Técnica de Ambato
Mg. Segundo Manuel Espín Lagos. Universidad Técnica de Ambato
Mg. Santiago Paúl Cabrera Anda. Universidad Técnica de Ambato
Mg. Gonzalo Eduardo López Villacis. Universidad Técnica de Ambato
Mg. María Belén Paredes Robalino. Universidad Técnica de Ambato
Ms.C. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla. Universidad Técnica de Ambato
Ms.C. Alex Gustavo López Arboleda. Universidad Técnica de Ambato
Ms.C. Fabio Paúl Portilla Yandun. Universidad Técnica de Ambato
Ms.C. Milton Rodrigo Aldas Sánchez. Universidad Técnica de Ambato
Ms.C. Fabián Rodrigo Morales Fiallos. Universidad Técnica de Ambato
Ph.D. Celia Margarita Mayacela Rojas. Universidad Técnica de Ambato
Ph.D. Luis Felipe Contreras Vásquez. Universidad Técnica de Ambato



PhD. Galo Naranjo López
RECTOR

PhD. Mary Cruz
VICERRECTORA ACADÉMICA

PhD. Elsa Hernández
VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN
Y VINCULACIÓN CON LA SOCIEDAD

MBA. Edison Viera
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

Ph.D. Lizette Elena Leiva Suero.
DIRECTORA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO



INVESTIGACIÓN & DESARROLLO

REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y CULTURAL
AMBATO - ECUADOR - SEMESTRAL





Editorial

A los distinguidos investigadores que siguen regularmente la publicación de artículos que se presentan semestralmente en nuestra revista, queremos presentarles el volumen 16. El presente tiene un enfoque multidisciplinario, en el cual se presentan los avances en diversas áreas del conocimiento que se integran en 14 líneas de investigación y 28 ejes estratégicos de desarrollo, que responden a la agenda 20-30 de la Organización de Naciones Unidas y a los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Muy importante la continuidad de artículos relacionados con la Pandemia Covid 19 con su repercusión global. Adicional a esta temática se tuvo una contribución amplia en conocimientos que se enmarcan en áreas de investigación de notoria actualidad en las Ciencias de la Salud, Ingeniería Civil y Mecánica, Ciencias Administrativas, Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, Cuidado y Protección Ambiental. Debemos agradecer la colaboración de distinguidos investigadores de diversos países como España, Chile y México, que han elegido a nuestra revista para la publicación de sus avances en investigación después de una sólida revisión por pares. Del mismo modo a los investigadores de las diferentes universidades de nuestro país que difunden sus conocimientos por medio de nuestra revista. Nos comprometemos una vez más en servir como un instrumento para la divulgación de resultados que realicen aportes valiosos a la comunidad y del mismo modo invitamos a otros investigadores a tomar en consideración a nuestra revista que día a día va avanza en beneficio de la Ciencia en el Ecuador, América Latina y el Mundo a partir de la investigación innovadora que tributa al desarrollo sostenible.

PhD. Lizette Leiva

Directora de Investigación y Desarrollo

PhD. Alberto Bustillos

Editor Responsable



CONTENIDO

Revista ID- Vol. 16

Página

Editorial	6
Contenido	7
Análisis de Correlaciones de Duraciones de Actividades en Proyectos de Túneles	9
Determinación del coeficiente de orientación para elementos de hormigón reforzados con fibras de poliolefina sometidos a fractura en modo mixto	31
Implementación de un Software para el Diseño de Anclajes en Vigas y Columnas de Estructuras Metálicas	51
Influencia sobre el cortante basal y derivas de edificaciones al incluir una fracción de la carga viva en la carga sísmica reactiva	69
Optimización para extracción y explotación artesanal de material pétreo, El Tambo, Santa Elena, Ecuador	92
Análisis del hidrógeno verde en el Ecuador	115
Incidencias del COVID-19 en el tránsito vehicular en la ciudad de Portoviejo	134
Ingeniería inversa aplicada a un dispositivo CPAP	150
El congestionamiento vehicular, análisis y propuesta de solución	173
Nuevos desarrollos para reducir la emisión acústica del ferrocarril	203
Caracterización de las enfermedades dermatológicas asociadas a COVID-19	225
Uso del modelo de pez cebra como herramienta para evaluar la actividad antiinflamatoria y antioxidante de los alimentos. Revisión de literatura	234

CONTENIDO
Revista ID- Vol. 16

Página

Manejo de antibióticos en infecciones intraabdominales bajo la perspectiva de la resistencia a los antimicrobianos en el servicio de cirugía del hospital general de Iatacunga

266

Síndrome Confusional Agudo en pacientes con COVID-19

279

Factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares en adultos jóvenes

307

El mercado laboral ecuatoriano y los efectos del Covid-19: percepciones desde los trabajadores.

324

Análisis de Correlaciones de Duraciones de Actividades en Proyectos de Túneles

Correlation Analysis of Activity Durations in Tunneling Projects

Sebastián Avendaño-Pavez¹; Edgardo González-Lizama²

¹Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas / Departamento de Ingeniería Civil, Santiago - Chile, sebastian.avendano@ing.uchile.cl

²Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas / Departamento de Ingeniería Civil, Santiago - Chile, edggonza@ing.uchile.cl

DOI: <https://doi.org/10.31243/id.v16.2022.1644>

Resumen

En el rubro de la ingeniería civil y la construcción resulta de interés estudiar la correlación entre las duraciones de las distintas actividades, a fin de contar con información que permita optimizar los rendimientos de los ciclos de trabajo, lo mismo que mejorar las estimaciones de las duraciones de actividades para futuras obras. La información de duraciones de actividades proviene de ciclos de trabajo de la ejecución de túneles interestación de la Línea 6 del Metro de Santiago. Con las correlaciones obtenidas, un primer objetivo es proponer la aplicación de un estadístico de prueba para determinar su nivel de confianza. Un segundo objetivo es plantear una formulación que emplee estas correlaciones para estimar la duración de una actividad a partir de la duración de una actividad anterior. Los resultados del primer objetivo permiten realizar análisis comparativos según tipo de suelo, paso de excavación y turno, considerando un nivel de confianza del 80%. Se observa que correlaciones negativas se pueden asociar a una mayor eficiencia del proceso constructivo. Los resultados del segundo objetivo se reflejan mediante un

ejemplo de aplicación de la formulación propuesta en base a la distribución normal bivariada.

Palabras clave	<i>Correlación, Estimación de Duración de Actividades, Distribución Bivariada, Túneles.</i>
-----------------------	---

Abstract

In the area of Civil Engineering and Construction it is relevant to study the correlation between durations of different activities, in order to acquire information that allows optimizing performance of work cycles, as well as improving estimates of activity durations in future works. The data analyzed in this paper comes from activity cycles of tunneling works in Line 6 of Metro de Santiago. Once the correlations were obtained, one first goal was to propose the application of a statistical hypothesis test to determinate their level of confidence. A second goal was to present a formulation that employs these correlations to estimate the duration of an activity from a previous activity duration. The results from the first objective allow to perform comparative analysis depending on soil type, excavation pace and work shift, applying a level of confidence of 80%. It is observed that negative correlations can be associated to a better efficiency of the constructive process. The results from the second objective are validated through the application of the suggested formulation based on a bivariate normal distribution.

Keywords:	<i>Correlation, Activities Duration Estimate, Bivariate Distribution, Tunnels.</i>
------------------	--

Introducción

En el rubro de la ingeniería y la construcción de obras civiles, la estimación de la duración de las actividades es una de las tareas de planificación más relevantes. En el caso de actividades que conforman ciclos de trabajo, que comparten elementos comunes como trabajadores, recursos y espacio de trabajo, resulta de interés estudiar la correlación entre las duraciones de las distintas actividades. Esto permite contar con información para mejorar los rendimientos de los ciclos de trabajo, lo mismo que mejorar las estimaciones de las duraciones de actividades

para futuras obras. Las correlaciones entre las duraciones de distintas actividades se pueden obtener a partir de una encuesta dirigida para el efecto a un panel de expertos (Cho, 2006). Es mejor si se obtienen a partir de un levantamiento de datos de una obra real, dado que otorgarán mejores resultados durante el análisis.

El presente trabajo constituye un aporte en el estudio del mejoramiento de los tiempos de construcción, ya que, al establecer relaciones entre las duraciones de las actividades, ayuda a tomar decisiones sobre en cuáles de ellas se debe invertir mayor tiempo para reducir tiempos de ejecución en las demás y así, finalmente, optimizar los tiempos del ciclo total. Esto, eventualmente, puede traducirse en una mayor economía para proyectos de túneles, o aún más, para proyectos de construcción consistentes en ciclos repetitivos, como las obras viales o ferroviarias.

Un primer objetivo es proponer la aplicación de un estadístico de prueba para determinar el nivel de confianza de las correlaciones. El estadístico de prueba permitirá discernir si una correlación entre duraciones de actividades se considera significativa en el sentido de establecer una relación entre ellas, y descartar los resultados que puedan provenir del ruido de las mediciones.

Un segundo objetivo es plantear una formulación para estimar la duración de una actividad a partir de la duración de una actividad anterior del mismo ciclo de trabajo, empleando los coeficientes de correlación obtenidos. En el capítulo “metodología” se describe el procedimiento que se sigue para conseguir esto, habiéndose revisado, previamente, las descripciones del proceso de estimación de actividades que define la Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Project Management Institute, 2017). Finalmente, se presenta un ejemplo de aplicación práctico para resolver un problema que podría ocurrir en una faena de construcción.

Descripción del Sitio

Para el desarrollo analítico del presente trabajo, se cuenta con un registro de duración de 7 actividades de 147 ciclos de trabajo de la ejecución de sostenimientos

de una parcialidad de los túneles interestación de la Línea 6 del Metro de Santiago, los que representan una longitud de aproximadamente 200 m de avance a través de gravas y suelos finos, en pasos de excavación de 1 m y 1,5 m, tanto en turnos de día como de noche.

Las actividades que conforman el ciclo de trabajo son excavación, perfilado, topografía, aplicación de hormigón proyectado para el sello de la excavación, instalación de malla, instalación de marco y aplicación de hormigón proyectado para completar el sostenimiento. En la tabla se presenta el resumen de los ciclos de datos considerados.

Tabla 1

Distribución de ciclos de trabajo según tipo de suelo, paso de excavación y turno.

Suelo	Paso	Turno	
		Día	Noche
Gravas	1 m	18	19
	1,5 m	13	11
Finos	1 m	13	7
	1,5 m	27	39

Cabe destacar que el registro de datos de ciclos utilizado es discontinuo, debido a que en algunos ciclos no se levantó la duración de todas las actividades, lo que impidió hacer uso de las duraciones del resto de las actividades. Sin embargo, en los ciclos con información completa no se eliminó ningún dato, por más que algunas duraciones de actividades de algunos ciclos parecieran fuera de rango.

Metodología

Criterio de correlación entre duraciones de actividades.- En primer lugar, se calculan los coeficientes de correlación entre las duraciones de los distintos pares actividades según tipo de suelo, paso de excavación y turno. Anderson (2003) indica que el estimador de máxima verosimilitud del coeficiente de correlación de Pearson está dado por:

$$r = \frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})(Y_t - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

donde X e Y son vectores de n muestras cada uno; \bar{X} e \bar{Y} son sus medias aritméticas; X_t e Y_t son sus elementos individuales; y r es el estimador de máxima verosimilitud para el coeficiente de correlación de Pearson.

Obtenidos los valores de correlaciones, se debe discernir si son lo suficientemente significativos para poder afirmar que las duraciones de dos actividades están correlacionadas. Una buena opción es utilizar el estadístico de prueba propuesta en el libro de Triola (2009):

$$t_r = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}} \quad (2)$$

donde r se obtiene de la ecuación (1), n es la cantidad de muestras en los vectores en que se evalúa la correlación, y t_r es el estadístico requerido para la prueba de hipótesis y decidir si las variables están correlacionadas o no.

El estadístico de prueba de la ecuación (2) proviene de una prueba de hipótesis que utiliza la t de Student. Se interpreta como el intento de demostrar que la correlación de la muestra se aleja lo suficientemente de la correlación supuesta, es decir, correlación nula o igual a cero. Al calcular este valor, se debe comparar con el valor crítico que corresponda al nivel de confianza seleccionado. Se considera un nivel de confianza del 80% para confirmar la correlación de las duraciones de dos actividades. La función “distr.t.2c”, del software Excel, ayuda a evaluar los valores de t obtenidos para obtener directamente los porcentajes de confianza de cada

valor. A partir de esto, se deben evaluar todos los pares posibles de cada turno, tipo de suelo y distancia de avance.

Estimación de la duración de una actividad a partir de la duración de una actividad anterior.- Se utiliza una formulación basada en el trabajo de Ferrada (2019), relativo al análisis de desviaciones en la estimación de la duración de actividades en proyectos de ingeniería civil, que queda definida según la siguiente expresión:

$$d \geq d_m + s \cdot t \quad (3)$$

donde d es la duración estimada de la actividad; d_m es la media del total de muestras de duraciones; s es la desviación estándar de las muestras; y t es el coeficiente estadístico proveniente de la distribución t de Student. Cabe destacar que Ferrada (2019), utilizando niveles de confianza de 80 % a 90 % para procesar registros de duración de actividades de la construcción de túneles interestación de la Línea 6 del Metro de Santiago, obtiene variabilidades similares a las que el juicio de expertos da para este tipo de obras, según encuestas del trabajo de Rodríguez (2016).

Considerando la ecuación (3), se propone una formulación para estimar la duración de una actividad a partir de la duración de una actividad anterior del mismo ciclo de trabajo, empleando los coeficientes de correlación obtenidos. Para esto, se propone utilizar la siguiente ecuación para estimar actividades:

$$d_{2|1} = \mu_{2|1} + t \cdot \sigma_{2|1} \quad (4)$$

$$\mu_{2|1} = \mu_2 + \rho \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right) \quad (5)$$

$$\sigma_{2|1}^2 = \sigma_2^2 (1 - \rho^2) \quad (6)$$

donde $d_{2|1}$ es la duración estimada de una actividad 2 dado que se sabe cuánto duró la actividad 1; $\mu_{2|1}$ es la media condicional, $\sigma_{2|1}$ es la raíz cuadrada de la varianza condicional; y t es el valor correspondiente al estadístico t de Student.

La definición de $\mu_{2|1}$ y $\sigma_{2|1}$ provienen del trabajo de Tong (1990), donde estudia la distribución normal bivariada. Los estimadores para μ y σ son los usuales y su definición se puede encontrar en el libro de Anderson (2003). Por último, el estimador de ρ fue definido en la ecuación (1). La proposición de la ecuación (4) fue realizada posterior a la revisión, también, de las obras de Montgomery D. & Runger G (2003); y Melchers R & Beck A. (2018), sobre distribución normal bivariada.

Las condiciones para utilizar la t de Student son que no se conozca la varianza poblacional y que la distribución sea significativamente normal, ya sea mediante una prueba de normalidad, o que la cantidad de datos considerados sea mayor que 30. Por su parte, Ferrada (2019) demuestra, mediante la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov (KS) que las duraciones de las actividades de construcción de túneles interestación de la Línea 6 del Metro de Santiago siguen una distribución aproximadamente normal. Por lo tanto, en este trabajo también se asumirá que las duraciones de las actividades siguen una distribución aproximadamente normal. Sin perjuicio de lo anterior, existen otros tipos de pruebas de normalidad como la de Saphiro-Wilk (SW), de Lilliefors (LF) y de Anderson-Darling (AD), entre otros (Razali & Wah, 2011); que también podrían utilizarse para probar la normalidad de las muestras.

Consideraciones Teóricas.- En primer lugar, en este trabajo se ha optado por asumir que las duraciones de las actividades poseen una función de densidad de probabilidad que se ajusta aproximadamente a una distribución normal. Este tipo de distribución facilita el uso del estadístico t de Student y además, ha sido ampliamente utilizada en el pasado para estimar duraciones de actividades en proyectos de construcción.

En este trabajo se ha optado por utilizar la t de Student dado que es una distribución que permite estimar un parámetro poblacional. Sin embargo, la t de Student se define que como una distribución que modela promedios de muestras, por lo que, en este caso particular, para proceder con el estudio, se postula utilizar muestras de tamaño $N=1$, donde su promedio será igual al único valor que contengan. Esto

implica que la definición clásica de la t de Student: $\mu = \bar{x} + \frac{t \cdot \hat{s}}{\sqrt{N}}$ (Dowdy et al., 2004; Hutchinson, 1993; Meyer, 1986; Spiegel & Stephens, 2009; Triola, 2009) se expresa, para efectos de este trabajo, tal como indica la ecuación (3); ya que el término \sqrt{N} , en este caso particular, es equivalente a 1.

En cuanto a los grados de libertad, es importante notar que en este trabajo se trabaja con $\nu = n - 1$, donde ν significa grados de libertad y n es la cantidad de muestras; pero cada una de estas muestras es de tamaño $N = 1$. Los grados de libertad entonces corresponderán al valor que resulta de restar una unidad al número de duraciones de actividades, número que depende directamente de la cantidad de ciclos que se posean del turno, paso y tipo de suelo elegido para el análisis.

Resultados

Utilizando la fórmula (1) se obtienen las correlaciones entre las actividades, que consisten en valores entre -1 y 1 que indican en qué grado están correlacionadas las duraciones de ambas actividades. Estas correlaciones se transforman a valores equivalentes de la distribución t de Student, utilizando la ecuación (2). Éstos a su vez, se convierten a niveles de confianza de las correlaciones, tal como se explicó en el apartado de metodología. Los valores obtenidos se muestran presentados en la Tabla 2, expresados en porcentajes.

Tabla 2

Niveles de confianza equivalentes a los valores t de Student de las correlaciones entre las duraciones de actividades.

Actividades		Grava paso 1m		Grava paso 1,5 m		Finos paso 1m		Finos paso 1,5 m	
		Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche
		Excavación y Perfilado	99,99 %	93,36 %	80,68 %	10,81 %	30,23 %	89,02 %	14,59 %
Excavación y Topografía	99,93 %	65,75 %	25,26 %	21,89 %	58,00 %	5,10 %	22,09 %	10,01 %	
Excavación y Sello	96,28 %	99,95 %	38,73 %	39,84 %	13,37 %	18,28 %	40,97 %	47,17 %	
Excavación y Malla	69,65 %	68,99 %	19,89 %	84,35 %	7,84 %	99,75 %	37,80 %	5,15 %	
Excavación y Marco	39,43 %	30,04 %	54,77 %	78,21 %	17,80 %	49,89 %	61,10 %	58,85 %	
Excavación y HP	96,05 %	32,76 %	62,36 %	71,95 %	13,83 %	71,66 %	45,08 %	50,27 %	
Perfilado y Topografía	99,99 %	99,85 %	87,78 %	64,29 %	33,83 %	1,16 %	92,05 %	83,87 %	
Perfilado y Sello	99,99 %	51,62 %	98,26 %	73,40 %	54,64 %	61,26 %	13,66 %	48,34 %	
Perfilado y Malla	79,42 %	76,34 %	92,21 %	94,92 %	47,37 %	95,40 %	43,00 %	33,75 %	
Perfilado y Marco	88,09 %	83,55 %	86,69 %	20,46 %	0,95 %	13,83 %	59,04 %	55,15 %	
Perfilado y HP	73,76 %	91,13 %	36,83 %	68,93 %	4,74 %	95,97 %	73,05 %	72,88 %	

Topografía	y	97,02		51,38	36,67	61,67	85,74	55,43	99,98
Sello		%	4,42%	%	%	%	%	%	%
Topografía	y	88,98	29,76	99,49	12,52	90,08	31,89	87,98	99,98
Malla		%	%	%	%	%	%	%	%
Topografía	y	85,21	64,60	86,87	81,99	21,96	87,50		91,49
Marco		%	%	%	%	%	%	0,64%	%
Topografía y HP		45,23	35,88	95,02	34,96	94,27	20,34	61,39	49,95
		%	%	%	%	%	%	%	%
Sello y Malla		99,18	92,88	43,53	32,74	84,64	27,29	33,18	99,95
		%	%	%	%	%	%	%	%
Sello y Marcos		78,84	34,12	86,22	49,68		97,81		80,71
		%	%	%	%	2,19%	%	1,88%	%
Sello y HP		54,72	63,60	48,14	48,69	81,50		49,46	90,11
		%	%	%	%	%	6,56%	%	%
Malla y Marco		33,44	99,60	99,48	64,19	66,71	27,53	61,87	83,62
		%	%	%	%	%	%	%	%
Malla y HP		40,48	59,72	85,89	55,90	98,85	85,31	11,16	78,81
		%	%	%	%	%	%	%	%
Marco y HP		75,76	83,27	80,41	99,15	19,95	39,60	32,15	22,13
		%	%	%	%	%	%	%	%

Nota. Las correlaciones positivas se presentan en letra normal, mientras que las negativas, en letra cursiva. Se destacan con gris las correlaciones con niveles de confianza superiores a 80%. (El gris claro destaca correlaciones positivas y el gris oscuro, las negativas.)

Para la mejor comprensión de la Tabla 2, cabe destacar que existe un valor crítico por cada columna, el que queda dado por el número de muestras indicado en la Tabla 1 para cada tipo de suelo, paso de excavación y turno.

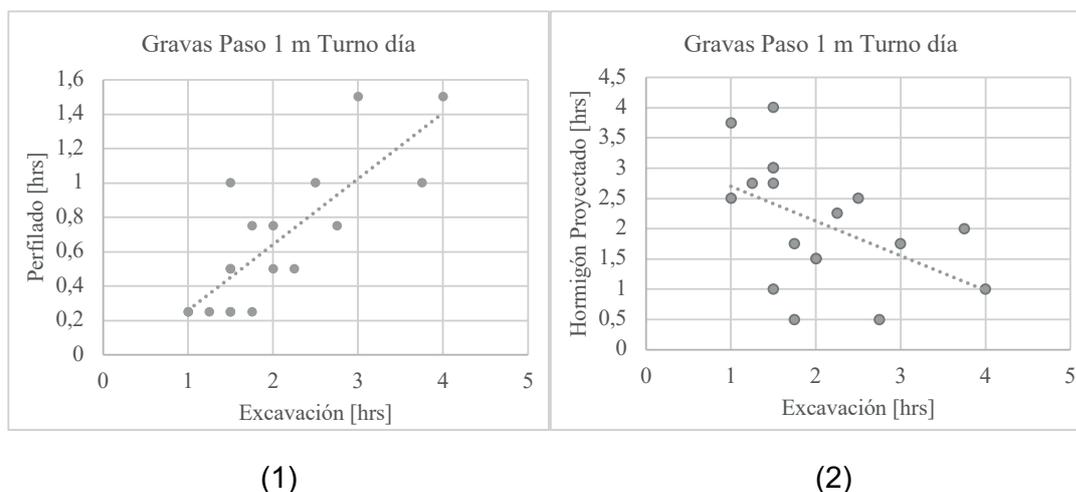
Discusión

Sentido del signo de las correlaciones.- Al considerar las duraciones de dos actividades, se ubican los puntos (x_i, y_i) en un eje coordenado, donde x_i e y_i representan las duraciones de dos actividades distintas de un mismo ciclo de trabajo i . Los gráficos de la

Figura 1, elaborados de esta manera, permiten observar que los puntos se alinean según pendientes positivas o negativas, las que representan correlaciones positivas o negativas, respectivamente.

Figura 1

Gráficos de dispersión de duraciones de actividades en horas. (1) Perfilado versus Excavación. (2) Hormigón Projectado versus Excavación.



Como se desprende de los gráficos, las correlaciones positivas entre las duraciones de dos actividades indican que mientras mayor tiempo vaya tomando la ejecución de la primera actividad, mayor tiempo irá tomando la ejecución de la segunda actividad. Por el contrario, las correlaciones negativas indican que mientras mayor tiempo vaya tomando la ejecución de la primera actividad, menor tiempo irá tomando la ejecución de la segunda actividad.

Las correlaciones positivas están asociadas a los recursos y medio ambiente que comparten las actividades analizadas (Cho, 2006). Así, por ejemplo, las tres primeras actividades del ciclo, que consisten en distintas etapas y/o formas de excavación, generalmente resultan con correlaciones positivas, dado que comparten la misma condición de trabajo, que es el suelo.

De modo general, se puede indicar que correlaciones positivas con un alto nivel de confianza son motivo de precaución, puesto que indican que invertir tiempo en una determinada actividad, no necesariamente redundará en ahorrar tiempo en las actividades siguientes.

Por su parte, correlaciones negativas con un alto nivel de confianza son virtuosas, puesto que indican que invertir tiempo en una determinada actividad, redundará en ahorrar tiempo en las actividades siguientes.

Eiris Pereira & Flood (2017) indican que para repeticiones de actividades iguales es probable que la correlación negativa ocurra en sistemas que, por ejemplo, incluyen información de feedback tales como la optimización del proceso de trabajo en tiempo real a través de “lecciones aprendidas”.

Análisis de Niveles de Confianza según tipo de suelo, según turno y según paso.- Antes de analizar los niveles de confianza, resulta interesante observar qué sucede con los promedios y las desviaciones de los tiempos de ciclo. Cabe destacar sí, que si bien cada una de las actividades que se han considerado en el presente trabajo forman parte de un ciclo, sólo se tienen registrados los tiempos de cada actividad y no del ciclo propiamente tal, lo que indica básicamente que no se tienen registrados los tiempos muertos o imprevistos entre actividades dentro de un ciclo. Sin embargo, para efectos de algunas conclusiones del trabajo, se puede considerar como una buena aproximación del tiempo de ciclo la suma de los tiempos de las actividades consideradas. En la siguiente tabla se presenta el promedio de los tiempos de ciclo calculados según lo indicado, incluyendo las desviaciones.

Tabla 3

Promedios y desviaciones de tiempos de ciclo.

	Turno Día		Turno Noche	
	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación
Gravas paso 1 m	8,92	2,41	8,91	2,01
Gravas paso 1,5 m	10,00	2,03	10,50	2,35
Finos paso 1 m	9,94	1,30	10,04	3,09
Finos paso 1,5 m	10,36	1,59	10,18	2,13

A continuación, considerando la Tabla 3, se analizan los niveles de confianza de correlaciones de actividades, presentados en la Tabla 2, tanto en gravas como en finos según paso y según turno. Se realizan 2 tipos de análisis:

- Análisis 1: La diferencia que se produce entre el turno de día y el turno de noche, sea con paso de 1 m o de 1,5 m.
- Análisis 2: Las ventajas y desventajas de pasar a excavar con un paso de 1 m a 1,5 m, sea en turno de día o en turno de noche.

Analizar las diferencias al variar el tipo de suelo no tiene objeto puesto que no es una variable que pueda ser decidida o modificada durante la construcción.

En los análisis consecutivos, al aludir a cada tipo de suelo, cuando sean con respecto a gravas se referirá a las primeras cuatro columnas de la Tabla 2, mientras que cuando sea con respecto a finos, se referirá a las últimas 4 columnas de la misma tabla.

Gravas, Análisis 1.- Para ambos pasos, los turnos de noche significan principalmente romper con varias correlaciones positivas con altos niveles de confianza que se observan en los turnos de día. También, se rompen varias correlaciones negativas con alto nivel de confianza. Este nivel de información no permite concluir respecto de los tiempos de ciclo, lo que es consistente con la información de la Tabla 3, donde los tiempos de ciclo entre los turnos de día y noche para excavación en gravas no presentan diferencias significativas, siendo iguales o menores a 5%. Lo mismo sucede con las desviaciones, cuyas diferencias son del orden del 20%.

Gravas, Análisis 2.- A diferencia del Análisis 1, donde el construir de día y de noche es consustancial a la ejecución de túneles, la determinación del paso de la excavación atiende a una decisión del contratista basada no sólo en las condiciones geotécnicas, sino que también, en consideraciones de efectividad y eficiencia. La información de la Tabla 3 demuestra que el aumento del paso de excavación en gravas de 1 m a 1,5 m es efectivo en términos de rendimiento (avance/tiempo), aunque no se cuenta con la información de los recursos gastados como para saber si fue eficiente también. Sin embargo, para efectos del trabajo, basta con notar que el aumento de paso fue efectivo.

El mejor rendimiento de excavar con un paso de 1,5 m respecto de un paso de 1 m se manifiesta nítidamente en el turno de día, donde se aprecia que aparecen varias correlaciones negativas con alto nivel de confianza. Lo descrito se debe a que si bien algunas actividades del ciclo aumentan su duración cuando aumenta el paso de la excavación, otras actividades mantienen su duración relativamente invariante (como instalación de malla y de marcos), lo que produce una mayor eficiencia de los recursos y, por tanto, correlaciones negativas (Eiris Pereira & Flood, 2017).

En el caso del turno de noche, no es fácil visualizar argumentos relativos a las correlaciones que permitan explicar el mejor rendimiento por aumentar el paso de la excavación de 1 m a 1,5 m, aunque se puede apelar directamente al hecho de que las correlaciones positivas disminuyen a la mitad.

Finos, Análisis 1.- Para ambos pasos, los turnos de noche significan principalmente agregar varias correlaciones positivas con altos niveles de confianza respecto de las que se observan en los turnos de día. Este nivel de información no permite concluir respecto de los tiempos de ciclo, lo que es consistente con la información de Tabla 3, donde los tiempos de ciclo entre los turnos de día y noche para excavación en finos no presentan diferencias significativas, siendo iguales o menores a 5 %, al igual que en el caso de las gravas. Sin embargo, en el caso de finos, la mayor cantidad de correlaciones positivas en turnos de noche respecto de turnos de día se manifiesta mediante el crecimiento de las desviaciones, siendo un 33% para el paso 1 m, y más del 100 % para el paso 1,5 m.

Finos, Análisis 2.- Al igual que en el caso de las gravas, la información de la Tabla 3 demuestra que el aumento del paso de excavación en finos de 1 m a 1,5 m es efectivo en términos de rendimiento (avance/tiempo).

Nótese sí que, en finos, los tiempos de ciclo son prácticamente los mismos para el paso de excavación de 1 m y de 1,5 m, tanto en turno de día como en turno de noche. Esto indica que el aumento de rendimiento por causa de aumentar el paso de excavación de 1 m a 1,5 m es mucho más efectivo en finos que en gravas.

No obstante lo anterior, en el grupo de Finos de la Tabla 2 no se aprecian correlaciones negativas de alto nivel de confianza en finos con paso 1,5 m tanto en turno de día como de noche. Esto indica que correlaciones negativas de alto nivel de confianza entre tiempos de actividades de un ciclo son suficientes, pero no necesarias, para establecer la posibilidad de estar frente a un ciclo de trabajo que tiende a una mayor efectividad y eficiencia, sea que la base de comparación se funde en el mismo tipo de ciclo o en un ciclo similar.

Análisis de Estimación de Duración de Actividades.- Se plantea el siguiente problema: Se requiere saber cuánto durará la actividad “Perfilado” dado que la actividad anterior “Excavación” demoró hora y media en completarse. Se tiene además que las actividades se desarrollan en suelo de gravas, paso 1 m y turno de

día. Se extraen los siguientes datos del mismo registro de datos utilizados para este trabajo y se utilizan como condición inicial:

Tabla 4

Datos del problema.

Parámetro	Excavación	Perfilado
\bar{X} [hrs]	2,03	0,65
\hat{s} [hrs]	0,87	0,41
Duración / Estimado [hrs]	1,50	?

Además, la correlación entre ambas actividades es $\rho = 0,80$ para condiciones de suelo de gravas, paso 1 m y turno de día. Para utilizar la ecuación (4) se requiere, en primer lugar, calcular los valores $\mu_{2|1}$ y $\sigma_{2|1}$ mediante las ecuaciones (5) **Error!** **No se encuentra el origen de la referencia.** y (6):

$$\mu_{2|1} = 0,65 + 0,80 \left(\frac{0,41}{0,87} \right) (1,50 - 2,03) = 0,45; \quad \sigma_{2|1} = \sqrt{0,41^2(1 - 0,8^2)} = 0,25$$

Se supone un valor de t de Student asociado a un nivel de confianza de 90%, con grados de libertad igual a infinito por simplicidad, ya que la muestra es suficientemente grande, resultando en un valor $t = 1,282$. Por lo tanto, utilizando la ecuación (4):

$$d_{2|1} \geq 0,45 + 1,282 \cdot 0,25 = 0,77$$

Finalmente, se pronostica que la próxima actividad “Perfilado” tendrá una duración de 0,77 horas; con un nivel de confianza de 90%.

Tabla 5

Resultado del problema.

Parámetro	Excavación	Perfilado
\bar{X} [hrs]	2,03	0,65
\hat{s} [hrs]	0,87	0,41
Duración / Estimado [hrs]	1,50	~ 0,77

Verificación de la estimación.- Con el objetivo de comprobar el resultado obtenido, se recopilan los datos de las duraciones de las actividades “Excavación” y “Perfilado”, en suelo de gravas, paso de 1 m y turno de día, las cuales se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6

Duración en horas de las actividades de Excavación y Perfilado, en suelo de gravas, paso 1 m y turno de día.

Excavación	Perfilado
1,00	0,25
1,00	0,25
1,25	0,25
1,50	0,25
1,50	0,25
1,50	0,50
1,50	0,50
1,50	1,00
1,75	0,75
1,75	0,25
2,00	0,50
2,00	0,75
2,25	0,50
2,50	1,00
2,75	0,75
3,00	1,50
3,75	1,00
4,00	1,50

Se resaltan las duraciones de turnos en que la excavación duró 1,5 horas. El promedio de duración de Perfilado de estos turnos es de 0,5 horas, que se encuentra por debajo de las 0,77 horas estimadas con la formulación propuesta. De esta forma, el estimado se encontraría por el margen conservador.

Por otro lado, se puede observar que las duraciones menores que 0,77 horas son 4 de 5, es decir, el 80% de los casos de las muestras están por debajo del valor estimado. Este porcentaje se puede considerar como un resultado razonable, ya que es similar al porcentaje de confianza propuesto del 90%.

Conclusiones

Conclusiones basadas en los objetivos.- Se estima que los objetivos trazados para el trabajo se han logrado. Analizando las correlaciones entre las duraciones de las distintas actividades de un ciclo de trabajo, en particular, del ciclo de construcción de los túneles interestación de la Línea 6 del Metro de Santiago, se ha propuesto un estadístico de prueba para determinar el nivel de confianza de las correlaciones, lo que resultó consistente al considerar un nivel de confianza de 80% como límite inferior para establecer la existencia de correlación, fuera positiva o negativa. La consistencia queda dada por los análisis de resultados desarrollados, donde siguiendo las conclusiones de Cho (2006) y de Eiris Pereira & Flood (2017) acerca del significado de las correlaciones positivas y negativas, se arriban a conclusiones que desde la lógica de la construcción de túneles resultan ser válidas.

Como segundo objetivo, basado en el trabajo de Ferrada (2019) y en el uso de la distribución normal bivariada, se ha propuesto una formulación para estimar la duración de una actividad a partir de la duración de una actividad anterior del mismo ciclo de trabajo, empleando los coeficientes de correlación obtenidos entre ellas en ciclos o en proyectos anteriores, lo que resultó consistente al desarrollar un par de ejemplos y contrastar sus resultados con los mismos datos originales con los cuáles se estimaron las correlaciones. La consistencia queda dada al relacionar los niveles de confianza de la estimación con la cercanía de los datos originales.

Propuestas de estudio.- Una propuesta de estudio que se desprende del primer objetivo dice relación con investigar con mayor profundidad acerca de los signos de las correlaciones y sus pendientes asociadas. Los trabajos utilizados como

referencia son relativamente recientes y existe espacio para ahondar en lo expuesto. Por ejemplo, si bien se puede afirmar que correlaciones negativas entre las duraciones de un par de actividades son relativamente virtuosas, lo serán en la medida que la suma de las duraciones de ambas actividades no sea superior a la suma de las duraciones de las mismas actividades en una condición de correlación positiva.

Respecto del segundo objetivo se desprenden dos posibilidades de mayor investigación. La primera se refiere a determinar con mayor precisión la distribución de la duración de las actividades. Si bien en el presente trabajo se asumió una distribución normal, basada en el trabajo de Ferrada (2019), se ha investigado que distribuciones como la Normal-logarítmica o la Gamma podrían representar de manera más apropiada la duración de las actividades de construcción (Mahfouz et al., 2013). La segunda posibilidad de investigación se refiere a determinar una formulación dinámica para la estimación de la duración de las actividades, que vaya actualizando las correlaciones y las estimaciones conforme avanza una obra real, lo que permitiría ir tomando decisiones respecto de dónde disponer los recursos para optimizar la duración del ciclo de trabajo.

Bibliografía

- Anderson, T. W. (2003). An Introduction to Multivariate Statistical Analysis. In *Technometrics* (3rd ed., Vol. 28, Issue 2). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.2307/1270458>
- Cho, S. (2006). An exploratory project expert system for eliciting correlation coefficient and sequential updating of duration estimation. *Expert Systems with Applications*, 30(4), 553–560. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.07.024>
- Dowdy, S., Wearden, S., & Chilko, D. (2004). *Statistics for Research* (Third). John Wiley and Sons, Inc.

Eiris Pereira, R., & Flood, I. (2017). Impact of linear correlation on construction project performance using stochastic linear scheduling. *Visualization in Engineering*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40327-017-0045-2>

Ferrada, R. (2019). *Análisis de Desviaciones en la Estimación de la duración de Actividades en Proyectos de Ingeniería Civil*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.

Hutchinson, T. P. (1993). *Essentials of Statistical Methods, in 41 Pages*. Rumsby Scientific Publishing.

Mahfouz, W., Youssef, M. A., El-Dash, K. M. M., & Ramadan, O. M. O. (2013). Construction Activities Duration Patterns in the Middle East. *International Journal of Construction Engineering and M Anagement*, 2013(4), 122–135. <https://doi.org/10.5923/j.ijcem.20130204.04>

Melchers, R., & Beck, A. (2018). *Structural Reliability Analysis and Prediction* (R. E. Melchers & A. T. Beck, Eds.). John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119266105>

Meyer, P. L. (1986). *Probabilidad y Aplicaciones Estadísticas*.

Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2003). Applied Statistics and Probability for Engineers. In *European Journal of Engineering Education* (Vol. 19, Issue 3). <https://doi.org/10.1080/03043799408928333>

Project Management Institute. (2017). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía PMBOK)* (Sexta Edic, Vol. 44, Issue 3). Project Manajement Institute.

Razali, N. M., & Wah, Y. B. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal Of Statistichal Modeling and Analytics*, 2(1), 21–33.

Rodríguez, E. (2016). *Análisis de metodologías de estimación de duración de actividades en proyectos de ingeniería civil*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.

Spiegel, M. R., & Stephens, L. J. (2009). Estadística. In *Mc Graw Hill* (Cuarta edi).

Tong, Y. L. (1990). *The Multivariate Normal Distribution*. Springer New York.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9655-0>

Triola, M. F. (2009). *Estadística* (10th ed.). Pearson Educación.

Determinación del coeficiente de orientación para elementos de hormigón reforzados con fibras de poliolefina sometidos a fractura en modo mixto.

Determination of the orientation coefficient for concrete elements reinforced with polyolefin fibers subjected to mixed mode fracture.

Wladimir Ramírez¹; Marco Alberti²; Álvaro Picazo³; Jaime Gálvez⁴

¹Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica/Departamento de Ingeniería Civil, Ambato – Ecuador, wj.ramirez@uta.edu.ec

² Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos/Departamento de Ingeniería Civil: Construcción, Madrid – España, marco.garcia@upm.es

³ Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S. de Edificación/Departamento de Tecnología de la Edificación, Madrid – España, a.picazo@upm.es

⁴ Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos/Departamento de Ingeniería Civil: Construcción, Madrid – España, jaime.galvez@upm.es

DOI: <https://doi.org/10.31243/id.v16.2022.1800>

Resumen

Durante los últimos 60 años la utilización de hormigones reforzados con fibras (HRF) ha tenido una constante evolución. Esta técnica permite la reducción del armado tradicional mediante barras de acero en el diseño estructural de obras civiles y de edificación. Las fibras empleadas desde el principio del uso de esta técnica han sido las de acero, pero en estos últimos años otras fibras sintéticas se han abierto paso en los HRF. Así las macro fibras de poliolefina han

demostrado cumplir con los requerimientos necesarios para ser consideradas aptas en el diseño estructural. Pero este avance tecnológico de las fibras de poliolefina debe venir apoyado con el conocimiento profundo de sus características y la forma como estas se distribuyen dentro de los elementos estructurales. Por tal motivo, en el presente estudio se analiza la distribución de las fibras a través del coeficiente de orientación para elementos de hormigón reforzados con fibras de poliolefina (HRFP) sometidos a ensayos de fractura a modo mixto, los resultados indican que este tiende a disminuir con relación a un plano vertical.

Palabras clave | *Fractura en Modo Mixto, coeficiente de orientación, hormigón reforzado con fibras, ductilidad.*

Abstract

During the last 60 years the use of concrete reinforced with fibers (HRF) has had a constant evolution. This technique allows the reduction of the traditional reinforcement by means of steel bars in the structural design of civil works and buildings. The fibers used from the beginning of the use of this technique have been those of steel, but in recent years other synthetic fibers have made their way into HRF. Thus, polyolefin macro fibers have been shown to meet the necessary requirements to be considered suitable in structural design. But this technological advance of polyolefin fibers must be supported by a deep knowledge of their characteristics and the way in which they are distributed within the structural elements. For this reason, in the present study the distribution of the fibers is analyzed through the orientation coefficient for concrete elements reinforced with polyolefin fibers (HRFP) subjected to mixed mode fracture tests, the results indicate that this tends to decrease relative to a vertical plane.

Keywords: | *Mixed Mode Fracture, orientation coefficient, fiber-reinforced concrete, ductility*

1. Introducción

El refuerzo mediante barras de acero es la técnica más empleada para mejorar las características resistentes a flexión y tracción del hormigón. La adición de barras de acero complementa el buen comportamiento a compresión del hormigón y dota a esa unión, definida como hormigón armado, de una ductilidad que le habilita para ser empleado en la construcción de estructuras civiles y de edificación. Otra técnica que permite mejorar las cualidades del hormigón es la adición de fibras aleatoriamente dispuestas en su masa, formando el hormigón reforzado con fibras (HRF) (Zheng & Feldman, 1995). Para el empleo de esta técnica, desde mediados del siglo pasado, se han venido empleando fibras de acero que han dado como resultado realizaciones prefabricadas, pavimentos (Serna et al., 2009) (Zollo, 1997), revestimientos de túneles (Ghasemi et al., 2018) (Behfarnia & Behravan, 2014) y pasarelas peatonales (Lopez et al., 2014). En los últimos años el avance de la industria química ha permitido el desarrollo de macro fibras poliméricas, químicamente estables, como elemento de refuerzo en el hormigón. De esta manera se constituye el hormigón reforzado con fibras de poliolefina (HRFP) que mejora el comportamiento a tracción, flexión capacidad de deformación y tenacidad del hormigón (Alberti et al., 2015) (Zheng & Feldman, 1995) (Christ et al., 2019), dotándole de un carácter dúctil que permite ser empleado en el diseño estructural, a la vez que se elimina algún inconveniente de las fibras de acero (Sorelli et al., n.d.) (Coelho do Amaral Júnior et al., 2017) (Carmona Malatesta & Cabrera Contreras, 2009).

De igual forma las fibras poliméricas aportan beneficios, en relación con las fibras de acero, como pueden ser la reducción de peso de la estructura y la menor afección a la maquinaria empleada para el amasado y puesta en obra (Yin et al., 2015) (Sorensen et al., 2014) (G et al., 2017).

Diversos factores influyen en el comportamiento del HRF: el material, la forma de las fibras, la dosificación y su orientación en el elemento estructural (Martinie

et al., 2015) (Sarmiento et al., n.d.) (Andries et al., 2015) (Yoo et al., 2016) (Marcos García Alberty, 2015) (Aguilar et al., 2021) (Zerbino, n.d.).

En este trabajo se evalúan diferentes tipos de HRFP sometidos a ensayos de flexión en tres puntos modificados para producir fractura por combinación de esfuerzos de corte y tracción (Modo mixto). Se ha empleado un hormigón fluido con una cuantía de fibras de poliolefina de 3, 6 y 10 kg/m³ en probetas prismáticas de 600x150x150 mm³, un hormigón fluido sin fibras como control y un hormigón autocompactante con 10 kg/m³ de fibras de poliolefina con tres tamaños diferentes. Los resultados obtenidos muestran como varía el coeficiente de orientación en la sección transversal de la probeta .

2. Metodología

Se desarrolló una investigación experimental a partir de la elaboración de probetas prismáticas con hormigón fluido y hormigón autocompactante, cuyas dimensiones se indican en la Tabla 1, en la dosificación se usaron diferentes cantidades de fibra de poliolefina entre 3 y 10 Kg/m³ para las probetas de hormigón fluido, mientras que para las probetas de hormigón autocompactante la dosificación se mantuvo constante en 10 Kg/m³. Sobre las probetas se realizaron ensayos de flexión modificados para reproducir la fractura por modo mixto y posteriormente a través de un conteo de fibras se analizó la distribución de estas, para tres planos: el plano de fractura por modo mixto, un plano vertical sobre la entalla de la probeta y un plano vertical de toda la sección que cruza por la entalla.

Tabla 1.

Características de las probetas realizadas en la campaña experimental

Hormigón	Dimensiones (mm)			Número de Probetas	Dosificación (kg/m ³)	Longitud de Fibra(mm)	Denominación
	Longitud	Ancho	Altura				
Fluido	600	150	150	2	-	-	HF0
Fluido	600	150	150	1	3	60	HF3
Fluido	600	150	150	2	6	60	HF6
Fluido	600	150	150	2	10	60	HF10
Autocompactante	340	50	75	3	10	48	WP
Autocompactante	675	50	150	5	10	48	WM
Autocompactante	1350	50	300	4	10	48	WG

2.1 Materiales, dosificación y características

Para la fabricación de las probetas de hormigón fluido y autocompactante se usó cemento tipo EN 197-1 CEM I 52.5 R-SR 5, áridos silíceos formados por gravillas y gravas con tamaños de 4 a 8 mm y 4 a 12 mm. Además, se usó arena con un tamaño entre 0 y 2 mm. El tamaño máximo del agregado fue de 12.7 mm. Como adición se usó filler calizo con densidad 2700 kg/m³ y superficie específica 400-450 m²/kg. El contenido de carbonato de calcio del filler calizo fue mayor del 98% con menos del 0.05 % retenido en el tamiz de 45 um. Para lograr la consistencia adecuada se empleó Sika Viscocrete 5720, un superplastificante a base de policarboxilatos con un contenido sólido del 36% y 1090 Kg/m³ de densidad. Se usaron fibras rectas de poliolefina con longitudes de 60 y 48 mm para hormigón fluido y autocompactante respectivamente. La dosificación de estos hormigones se muestra en la Tabla 2 y las características de las fibras en la Tabla 3.

Tabla 2.*Dosificación Hormigón Fluido y Autocompactante*

	HF0	HF3	HF6	HF10	WP-WM-WG
Agua (Kg/m ³)	187,50	187,50	187,50	187,50	187,50
Cemento (Kg/m ³)	375,00	375,00	375,00	375,00	375,00
Filler Calizo (Kg/m ³)	100,00	100,00	100,00	100,00	200,00
Arena (Kg/m ³)	916,00	916,00	916,00	916,00	917,70
Grava (Kg/m ³)	300,00	300,00	300,00	300,00	367,10
Gravilla (Kg/m ³)	450,00	450,00	450,00	450,00	244,70
Fibras de poliolefina Vf (Kg/m ³)	-	3,00	6,00	10,00	10,00
Superplastificante 0,75-1,25 % peso del cemento (Kg/m ³)	2,80	2,80	2,80	2,80	4,70
Relación a/c	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Nota. Dosificación tomada de (Marcos García Alberty, 2015)

Tabla 3.*Propiedades de fibras usadas en hormigón fluido y autocompactante*

Tipo de fibra	Fibras de poliolefina
Longitud (mm)	48-60
Forma de fibra	Recta
Densidad (g/cm ³)	0,91
Diámetro equivalente (mm)	0,903
Resistencia a tracción (MPa)	>500
Módulo de elasticidad (GPa)	>9
Fibras por Kg	27000
Estructura de la superficie	Rugosa

Para conseguir una adecuada compactación, el hormigón fluido fue vibrado en bandeja vibrante a una frecuencia de 3000 rpm durante un tiempo de 10 segundos. Las características del hormigón autocompactante en estado fresco fueron verificadas mediante el ensayo de escurrimiento (AENOR, 2011a) y del embudo en V (AENOR, 2011b). Los resultados de dichos ensayos se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4.

Resultados ensayos extensión de flujo y embudo en V

Ensayo	Parámetro	H. Autocompactante
UNE-EN 12350-8	T500 (s) df (mm)	6 570
UNE-EN 12350-9	Tv	20

Todas las probetas se mantuvieron en cámara húmeda hasta el momento de su ensayo.

La granulometría de la grava y arena, así como la resistencia cilíndrica a la compresión y el módulo de elasticidad del hormigón fluido y autocompactante, han sido determinadas en investigaciones anteriores (Marcos García Alberty, 2015)

2.2 Conteo de Fibras

Las propiedades mecánicas de los elementos de HRF dependen en gran medida de la orientación y disposición de las fibras en el elemento estructural.

Los esfuerzos de corte dentro del flujo de hormigón hacen que la fibra vaya rotando y cambiando de posiciones, orientándose con la dirección del flujo de vertido (Martinie & Roussel, 2011). La orientación de la fibra es sensible a los esfuerzos del flujo en el fluido y a las condiciones de confinamiento del fluido debido a la fricción que se desarrolla en las paredes (Boulekbache et al., 2010). De todos los posibles factores que afectan a la disposición de las fibras, los que mayor influencia tienen en la posición final de las fibras son: la forma del vaciado del hormigón, el proceso de compactación y el efecto pared (Dupont & Vandewalle, 2005) (Martinie & Roussel, 2011) (Martinie et al., 2015).

Conocer la distribución y el número de fibras que hay en una determinada sección es muy importante, ya que la respuesta del material ante esfuerzos de

tracción está gobernada por el factor de orientación cuyo valor numérico a partir de ensayos se ha establecido entre $\theta=0,5$ y 0.7 (Marcos García Alberty, 2015) (Sarmiento et al., n.d.) (Andries et al., 2015) (Zerbino, n.d.).

El número de fibras que se pueden localizar en un plano de fractura y que contribuyen a disminuir el efecto de propagación de grietas en la sección o llamado coeficiente de orientación (Krenchel, 1975) (Martinie et al., 2015), representa la relación entre el número real de fibras que se encuentran en la sección (n) y el número teórico de fibras para la misma (th), según la Ecuación (1).

$$\theta = \frac{n}{th} \quad (1)$$

Una forma práctica de determinar el número real de fibras de un plano de fractura consiste en realizar una malla que divida al plano de fractura en varias partes de menor tamaño y contar el número de fibras en cada parte (Gettu et al., 2005). En la Figura 1 se puede observar una probeta tipo HF con la malla dibujada sobre el plano de fractura.

Figura 1.

Malla para el conteo de fibras dibujada sobre una probeta tipo HF



El número teórico de fibras se calcula según se indica en la ecuación (2) , donde A_c es la superficie de fractura, V_f es la relación entre el volumen de fibras en la probeta y el volumen de la probeta y A_f es el área de la sección transversal de una fibra.

$$n = \frac{A_c \cdot V_f}{A_f} \quad (2)$$

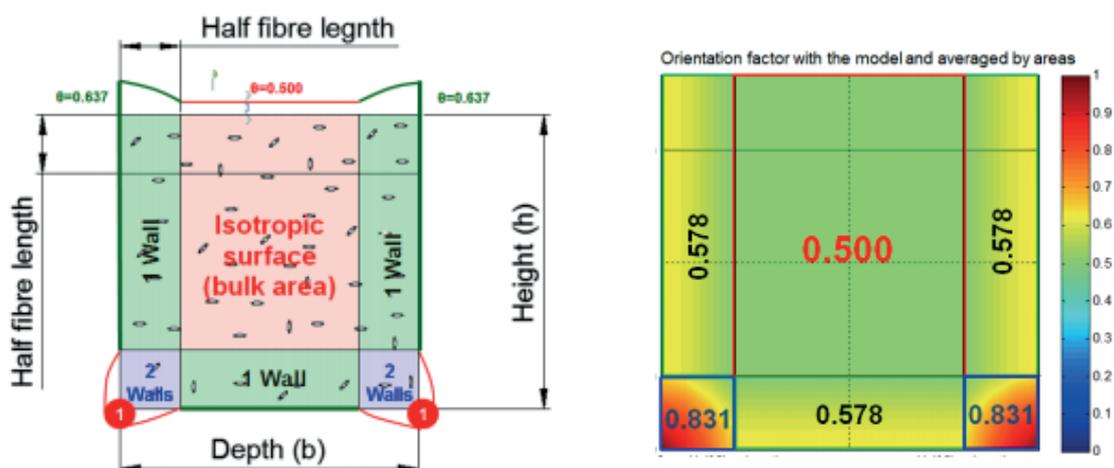
$$V_f = \frac{\text{Volumen de fibras}}{\text{Volumen de probeta}} \quad (3)$$

Otros autores reportan la creación de un modelo matemático a través del cual se pueden determinar los valores del coeficiente de orientación para elementos tipo viga hechos de

hormigón autocompactante, se puede identificar claramente tres zonas en la sección trasversal (Marcos García Alberty, 2015)

Figura 2.

Valores del coeficiente de orientación



Nota: Tomado de (Marcos García Alberty, 2015)

Las zonas con coeficiente θ_2 corresponden al área afectada por el efecto pared. En la zona θ_1 el hormigón puede desplazarse con mayor facilidad debido a que se desliza sobre otras partículas de la misma masa y la zona θ_3 es el área donde existe una doble interacción del efecto pared.

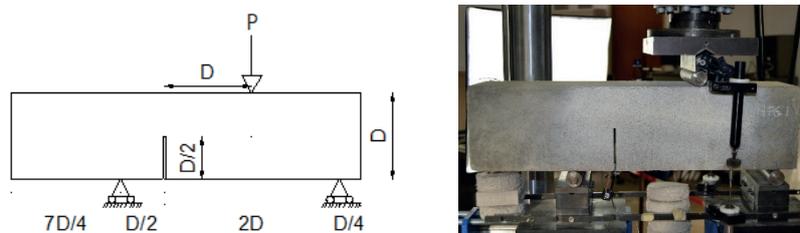
La zona de efecto pared es aquella franja donde hay una distribución de fibras diferente a la zona central de la sección transversal del elemento. Esto se debe al rozamiento que existe entre el flujo y las paredes del encofrado. El ancho de la franja se acota como una longitud igual a la mitad de la longitud de las fibras (Dupont & Vandewalle, 2005).

2.3 Ensayos en Modo III

Para someter las probetas a un esfuerzo de tracción y cortante en Modo mixto se realizaron ensayos de flexión en tres puntos con distribución asimétrica tanto del punto de aplicación de la carga como de los apoyos. Todas las distancias para la realización de los ensayos se encuentran parametrizadas con relación a la altura de las probetas, según se puede ver en la Figura 3 (Gálvez et al., n.d.).

Figura 3.

Disposición de ensayos a Modo mixto



En todas las probetas se realizó una entalla, de altura igual a la mitad de la altura de la probeta y anchura de 4mm (Gálvez et al., n.d.) (Cendón et al., 2000). La entalla se realizó con una máquina de corte.

Para la correcta colocación de la probeta sobre los apoyos y la correcta aplicación de la carga se utilizó un nivel láser. Los ensayos se realizaron en una máquina Instron® 8803 con una capacidad máxima de 500kN y células de carga Dynacell™. La velocidad de aplicación de la carga durante el ensayo fue de 0.0425 mm/min hasta los 0.6 mm de flecha y 0.17 mm/min para valores

superiores de flecha. La abertura de la entalla fue medida mediante un extensómetro tipo CMOD (crack mouth open displacement) y la flecha que se produjo en la viga fue medida mediante dos extensómetros tipo LVDT (linear variable displacement transducer) situados a cada lado de la probeta.

3. Resultados experimentales

Conteo de fibras

El objetivo del conteo de fibras es determinar el coeficiente de orientación en la superficie de fractura, en el plano vertical de la entalla y en la sección transversal completa. Para contar las fibras se han subdividido ambas superficies en regiones más pequeñas donde se marcan las zonas de efecto pared, como se muestra en la Figura 1.

Las fibras presentaron tres tipologías: rota, deslizada y mal situada. El fallo por rotura indica que la fibra falló por tracción produciéndose la rotura de la fibra. El fallo por deslizamiento implica que la fibra no tiene la suficiente longitud de adherencia con la matriz de hormigón siendo extraída por completo. Las fibras mal situadas o mal ubicadas son aquellas que se disponen de forma paralela al plano a analizar, sea este el de fractura o el plano vertical y su colaboración en el proceso de fractura es despreciable.

Para el cálculo del coeficiente de orientación, debido a que la superficie de fractura es de forma irregular, se ha considerado un plano de fractura formado por la compensación de áreas de la superficie.

El coeficiente de orientación se calculó para las tres zonas de cada probeta, para representar el coeficiente del área total se hizo un cálculo ponderado en función del área de cada zona. En el caso de hormigón fluido la Figura 4 (a) muestra el coeficiente de orientación sobre la entalla, la Figura 4 (b) en el plano de fractura, mientras que la Figura 4 (c) muestra el coeficiente de orientación para toda la sección vertical que cruza por la entalla de igual manera en la Figura 5 para el caso de hormigón autocompactante.

Figura 4.

(a) Coeficiente de orientación plano vertical; (b) coeficiente de orientación plano de fractura para hormigón fluido; (c) Coeficiente de orientación sección vertical completa para hormigón fluido

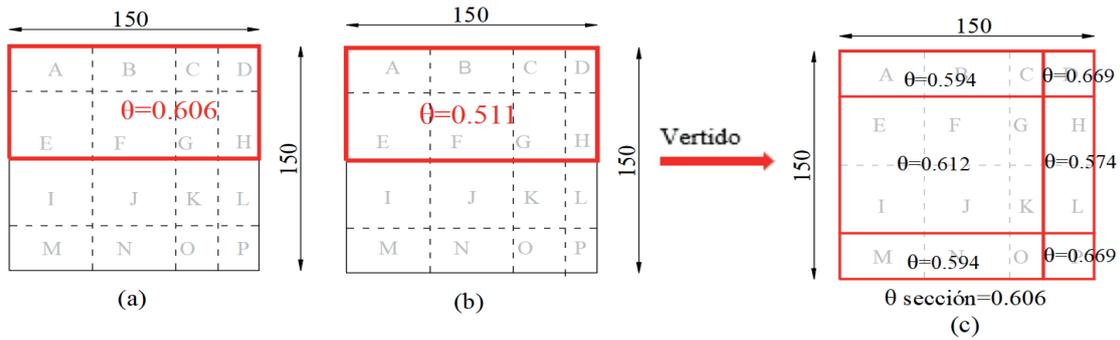
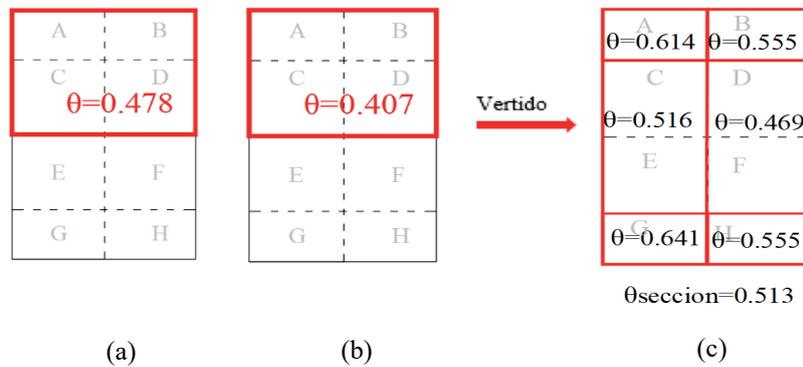


Figura 5

(a) Coeficiente de orientación plano vertical; (b) coeficiente de orientación plano de fractura para hormigón autocompactante; (c) Coeficiente de orientación sección vertical completa para hormigón autocompactante



4. Comparación y discusión

Si observamos la Figuras 4,5,6 de hormigón fluido y autocompactante, se identifica que existe una disminución del coeficiente de orientación para el plano de fractura con relación al plano vertical, el coeficiente de orientación en el primer caso disminuye un 16% y en el segundo 15 % con relación al plano vertical que

crucza por la entalla (Figura 4). De acuerdo con el modelo propuesto por (Marcos García Alberty, 2015) las fibras en el hormigón tienden a ubicarse en posición horizontal por acción del flujo, de aquí se deduce que teóricamente el coeficiente de orientación varía entre cero y uno, uno cuando el plano de fractura es vertical y cero cuando el plano de fractura es horizontal. Cualquier otro plano de fractura que se encuentre inclinado tendrá un coeficiente de orientación menor a 1 y este disminuirá conforme aumente el ángulo de inclinación con respecto al plano vertical.

Las Figuras 4 y 5 muestran el coeficiente de orientación calculado para un plano vertical de la sección completa, en las probetas de hormigón fluido $\theta = 0.606$ y en las de hormigón autocompactante $\theta = 0.513$, si hacemos el promedio de ambos valores encontramos que $\theta = 0.560$ valor similar al propuesto por (Marcos García Alberty, 2015) (Andries et al., 2015) (Zerbino, n.d.) . La disminución del coeficiente para las probetas de hormigón autocompactante puede estar influenciado por un cambio en las propiedades del flujo debido al menor espesor de estas.

La Figura 4 indica que el coeficiente de orientación para la sección vertical completa en zona influenciada por un doble efecto pared vale 0.669 mientras que para la zona de simple efecto pared vale 0.574 y 0.594, disminuye hasta un 14% es decir se puede notar que en la zona de doble efecto pared las fibras se ubican de mejor manera, el valor promedio entre las dos zonas es 0.61 valor similar a lo propuesto por (Sarmiento et al., n.d.).

Las probetas de hormigón autocompactante realizadas con una misma dosificación, muestran que la cantidad de fibras aumenta con el tamaño de la probeta, como se indica en la Figura 7, donde el número de fibras/mm² para probetas pequeñas es 0.0065 y para probetas grandes 0.0076, es decir, aumenta un 17 %, por otra parte la distribución de las fibras también mejora con el tamaño de la probeta donde el coeficiente de orientación del plano de fractura en probetas pequeñas es 0.361 y en probetas grandes 0.472, se incrementa un 31% (ver Figura 7).

Figura 6

Coefficiente de orientación en probetas de hormigón fluido y autocompactante

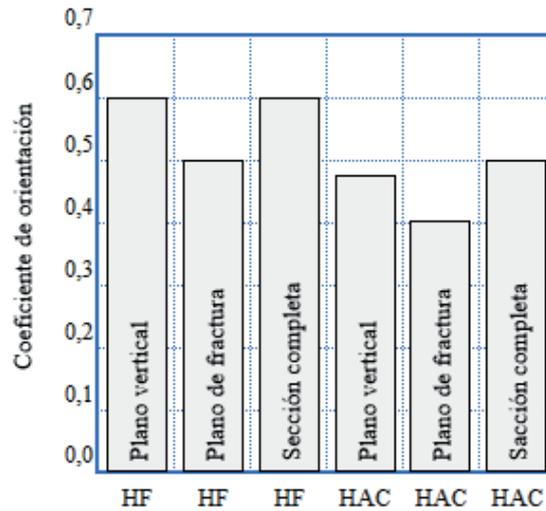
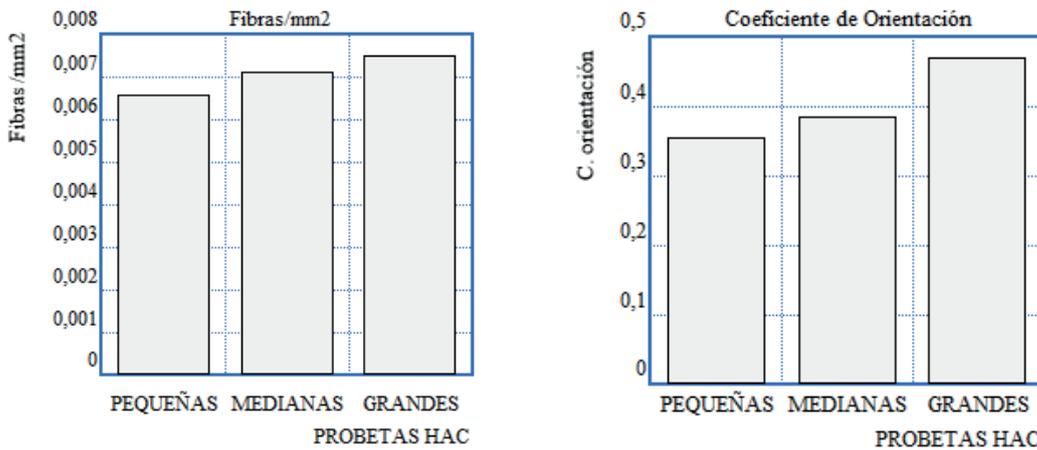


Figura 7

Cantidad de fibras/mm²-tamaño de probetas y coeficiente de orientación-tamaño de probetas para hormigón autocompactante en el plano de fractura



El coeficiente de orientación para la sección completa en probetas pequeñas es 0.485 y en probetas grandes 0.545, aumenta un 12 %. Estas variaciones nos indican la existencia de un fenómeno reológico relacionado con el tamaño de las probetas y el flujo del hormigón, porque al ser elementos delgados, durante el vertido del hormigón las fibras experimentan la mayoría de sus movimientos en un solo plano, el mismo que se encuentra limitado por la altura de la probeta.

Razón por la cual, en probetas grandes al existir una mayor altura, las líneas de flujo del hormigón recorren una mayor distancia hacia los costados de la probeta y provoca que las fibras ocupen una mejor posición con respecto a las probetas pequeñas, resultados similares fueron obtenidos por (Andries et al., n.d.) donde para vigas de 2 m de longitud se demuestra que el coeficiente de orientación crece conforme se aleja la distancia al punto de vertido.

5. Conclusiones

Se comparó el cálculo del coeficiente de orientación para un plano vertical con el modelo propuesto por otros autores y existen diferencias numéricas que podrían deberse a la relación entre el ancho de la probeta y la altura de esta, influenciado por las propiedades reológicas del flujo de hormigón.

El coeficiente de orientación y la cantidad de fibras por superficie tienden a aumentar conforme aumenta el tamaño de la probeta, probablemente debido a un fenómeno reológico que provoca una mejor distribución y orientación de las fibras conforme aumenta el recorrido de las líneas de flujo.

El hormigón autocompactante elaborado con 10 Kg/m³ de fibra de poliolefina presentó una adecuada trabajabilidad, esta característica se refleja en los ensayos de extensión de flujo y embudo en V.

El ensayo modificado de flexión en tres puntos resultó adecuado para reproducir la condición de fractura en modo mixto.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen al personal que forma parte del Laboratorio De Materiales De Construcción de la Universidad Politécnica de Madrid por facilitar sus instalaciones para el desarrollo de la presente investigación.

7. Referencias

AENOR. (2011a). *UNE-EN 12350-8. Ensayos de hormigón fresco. Parte 8: Hormigón autocompactante. Ensayo del escurrimiento.*

AENOR. (2011b). *UNE-EN-12350-9 Ensayos de hormigón fresco. Parte 9: Hormigón autocompactante. Ensayo del embudo en V.*

Aguilar, J. V., Juárez-Alvarado, C. A., Mendoza-Rangel, J. M., & Terán-Torres, B. T. (2021). Effect of the notch-to-depth ratio on the post-cracking behavior of steel-fiber-reinforced concrete. *Materials*, 14(2), 1–17. <https://doi.org/10.3390/ma14020445>

Alberti, M. G., Enfedaque, A., & Gálvez, J. C. (2015). Comparison between polyolefin fibre reinforced vibrated conventional concrete and self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 85, 182–194. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2015.03.007>

Andries, J., Itterbeeck, P., Vandewalle, L., & van Gysel, A. (2015, July). *Influence of concrete flow on spatial distribution and orientation of fibres in steel fibre reinforced self-compacting concrete.*

Andries, J., Itterbeeck, P. van, ... L. V. symposium, & 2015, undefined. (n.d.). Influence of concrete flow on spatial distribution and orientation of fibres in steel fibre reinforced self-compacting concrete. *Researchgate.Net*. Retrieved July 19, 2021, from https://www.researchgate.net/profile/Joren-Andries/publication/323486427_Influence_of_concrete_flow_on_spatial_distribution_and_orientation_of_fibres_in_steel_fibre_reinforced_self-compacting_concrete/links/5a9815c745851535bcdfad62/Influence-of-concrete-flow-on-spatial-distribution-and-orientation-of-fibres-in-steel-fibre-reinforced-self-compacting-concrete.pdf

Behfarnia, K., & Behravan, A. (2014). Application of high performance polypropylene fibers in concrete lining of water tunnels. *Materials & Design*, 55, 274–279. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2013.09.075>

Boulekbache, B., Hamrat, M., Chemrouk, M., & Amziane, S. (2010). Flowability of fibre-reinforced concrete and its effect on the mechanical properties of the material. *Construction and Building Materials*, 24(9), 1664–1671. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2010.02.025>

Carmona Malatesta, S., & Cabrera Contreras, M. (2009). Comportamiento al corte de hormigones reforzado con fibras de acero. *Revista Ingeniería de Construcción*, 24(1), 74–94. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732009000100004>

Cendón, D., Gálvez, J., Elices, M., of, J. P.-I. journal, & 2000, undefined. (2000). Modelling the fracture of concrete under mixed loading. *Springer*, 103(3), 293–310. <https://doi.org/10.1023/A:1007687025575>

Christ, R., Pacheco, F., Ehrenbring, H., Quinino, U., Mancio, M., Muñoz, Y., & Tutikian, B. (2019). Study of mechanical behavior of ultra - High performance concrete (UHPC) reinforced with hybrid fibers and with reduced cement consumption | Estudio del comportamiento mecánico del hormigón de ultraaltas prestaciones (UHPC) reforzado con fibras híbridas y. *Revista Ingeniería de Construcción*, 34(2), 159–168. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732019000200159>

Coelho do Amaral Júnior, J., Caroline Ferreira Silva, L., & Guadagnin Moravia, W. (2017). *Experimental analyses of polymeric fiber addition on concrete mechanical properties*. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620170001.0112>

Dupont, D., & Vandewalle, L. (2005). Distribution of steel fibres in rectangular sections. *Cement and Concrete Composites*, 27(3), 391–398. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2004.03.005>

G, A. M., Alejandro, E., C, G. J., & Luis, P. (2017). Structural Cast-in-Place Application of Polyolefin Fiber-Reinforced Concrete in a Water Pipeline Supporting Elements. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 8(4), 05017002. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)PS.1949-1204.0000274](https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000274)

Gálvez, J., Cendón, D., Planas, J., ... G. G.-P. of, & 1998, undefined. (n.d.). Fracture of concrete under mixed loading-experimental results and numerical prediction. *Framcos.Org*. Retrieved July 14, 2021, from <http://www.framcos.org/FraMCoS-3/1-7-1.pdf>

Gettu, R., Gardner, D. R., Saldívar, H., & Barragán, B. E. (2005). Study of the distribution and orientation of fibers in SFRC specimens. *Materials and Structures*, 38(1), 31–37. <https://doi.org/10.1007/BF02480572>

Ghasemi, M., Ghasemi, M. R., & Mousavi, S. R. (2018). Investigating the effects of maximum aggregate size on self-compacting steel fiber reinforced concrete fracture parameters. *Construction and Building Materials*, 162, 674–682. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.141>

Krenchel, H. (1975). Fibre spacing and specific fibre surface. *Fibre Reinforced Cement and Concrete*, 1975, 69–79.

Lopez, J. A., Serna, P., Camacho, E., Coll, H., & Navarro-Gregori, J. (2014). First Ultra-High-Performance Fibre-Reinforced Concrete Footbridge in Spain: Design and Construction. *Structural Engineering International*, 24(1), 101–104. <https://doi.org/10.2749/101686614X13830788505793>

Marcos García Alberty. (2015). *Polyolefin fibre-reinforced concrete: from material behaviour to numerical and design considerations*.

Martinie, L., Lataste, J.-F., & Roussel, N. (2015). Fiber orientation during casting of UHPFRC: electrical resistivity measurements, image analysis and numerical simulations. *Materials and Structures*, 48(4), 947–957. <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0205-3>

Martinie, L., & Roussel, N. (2011). Simple tools for fiber orientation prediction in industrial practice. *Cement and Concrete Research*, 41(10), 993–1000. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2011.05.008>

Sarmiento, E., Zirgulis, G., ... S. S.-B. R., & 2012, undefined. (n.d.). Influence of concrete flow on fibre distribution, orientation and mechanical properties of fibre reinforced concrete. *Rilem.Net*. Retrieved July 23, 2021, from https://www.rilem.net/gene/main.php?base=500218&id_publication=419&id_papier=8659

Serna, P., Arango, S., Ribeiro, T., Núñez, A. M., & Garcia-Taengua, E. (2009). Structural cast-in-place SFRC: technology, control criteria and recent applications in Spain. *Materials and Structures*, 42(9), 1233. <https://doi.org/10.1617/s11527-009-9540-9>

Sorelli, L., Meda, A., Journal, G. P.-A. M., & 2006, undefined. (n.d.). Steel fiber concrete slabs on ground: a structural matter. *Gci.Ulaval.Ca*. Retrieved July 13, 2021, from <https://www.gci.ulaval.ca/fileadmin/gci/documents/4.pdf>

Sorensen, C., Berge, E., & Nikolaisen, E. B. (2014). Investigation of Fiber Distribution in Concrete Batches Discharged from Ready-Mix Truck. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 8(4), 279–287. <https://doi.org/10.1007/s40069-014-0083-2>

Yin, S., Tuladhar, R., Shi, F., Combe, M., Collister, T., & Sivakugan, N. (2015). Use of macro plastic fibres in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 93, 180–188. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2015.05.105>

Yoo, D. Y., Banthia, N., Yang, J. M., & Yoon, Y. S. (2016). Size effect in normal- and high-strength amorphous metallic and steel fiber reinforced concrete beams. *Construction and Building Materials*, 121, 676–685. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.06.040>

Zerbino, G. M. (n.d.). *RESPUESTA POST FISURACIÓN DE HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS*.

Zheng, Z., & Feldman, D. (1995). Synthetic fibre-reinforced concrete. *Progress in Polymer Science*, 20(2), 185–210.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0079-6700\(94\)00030-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0079-6700(94)00030-6)

Zollo, R. F. (1997). Fiber-reinforced concrete: an overview after 30 years of development. *Cement and Concrete Composites*, 19(2), 107–122.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(96\)00046-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0958-9465(96)00046-7)

Implementación de un Software para el Diseño de Anclajes en Vigas y Columnas de Estructuras Metálicas

Implementation of a Software for the Design of Anchorages in Beams and Columns Steel Structures

Betzabeth Suquillo-Ronquillo^{1,2}; Evelyn Cabrera-Álvarez³; Juan Chacón-Sánchez⁴; Margarita Mayacela-Rojas⁵

¹Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil, Santiago de Chile - Chile, bsuquillo@ug.uchile.cl

²SyllCons, Consultoría en Ingeniería y Construcción, Quito-Ecuador, ing.syllcons@gmail.com

³Hidrovictoria S.A., Departamento de Ingeniería Civil, Quito - Ecuador, hebellin@hotmail.com

⁴Ingenio Innova, Consultor Independiente, Quito - Ecuador, ingenio_innova@hotmail.com

⁵Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato - Ecuador, cm.mayacela@uta.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.31243/id.v16.2022.1803>

Resumen

Dentro del sistema constructivo que forman parte de las conexiones en estructuras metálicas, se encuentran elementos estructurales que aseguran la continuidad del edificio y transmiten fuerzas de un miembro a otro, los cuales se denominan placas base para columnas y placas de soporte para vigas. El análisis de estos elementos consiste en un proceso sistemático y matemático bastante extenso, lo que ocasiona que el tiempo empleado para el diseño sea considerable lo cual puede generar

errores matemáticos, pudiendo generar elementos sobredimensionados, lo cual ocasionaría la utilización de recursos económicos innecesarios o a su vez generaría elementos sub-dimensionados que indicaría una resistencia menor a la requerida provocando grandes problemas en el comportamiento de la estructura. En el presente artículo se muestra la implementación de un software libre y de fácil manejo para el diseño de anclajes de columnas y vigas metálicas (ANCHOR DESIGN) de acuerdo con lineamientos establecidos por la norma ANSI/AISC 360-16. Los resultados obtenidos fueron validados y comparados manualmente y con otras investigaciones reflejando bajos porcentajes de diferencia lo cual asegura la

Palabras clave: Anclajes estructurales, estructura metálica, placas base.

Abstract

In the connections of steel structures, there are structural elements in the construction system that ensure the continuity of the building and transmit forces from one member to another, which are called base plates for columns and support plates for beams. The analysis of these elements consists of a quite extensive systematic and mathematical process, which causes that the time used for the design is considerable and due to the number of iterations mathematical errors can occur, which can generate oversized elements, which causes the use of unnecessary economic resources or in turn generate under-dimensioned elements that would indicate a lower resistance than required causing major problems in the behavior of the structure. The objective of this research was to create a free and easy to use software for the design of anchorage of steel columns and beams (ANCHOR DESIGN) according to the guidelines established by the ANSI/AISC 360-16 standard. This software is accompanied by a user's manual describing step by step some common calculation examples and its results were compared with exercises developed by (Fisher & Kloiber, 2006) reflecting low percentages of

difference which ensures the reliability of the design and assures the link between the foundation and the superstructure.

Keywords: | Structural anchors, steel structures,
base plate.

Introducción

La ocurrencia de eventos sísmicos de gran envergadura como el sismo de como Northridge (1994) de magnitud 6.7 y Kobe (1995) de magnitud 7.3 obligaron a instituciones e investigadores a estudiar con mayor profundidad el comportamiento de estructuras metálicas bajo acciones sísmicas logrando desarrollar procedimientos que garantizan el buen desempeño de las estructuras, y que han sido incorporados en las diferentes actualizaciones de las normas de diseño de estructuras metálicas. (Núñez et al., 2017)

Las nuevas tecnologías y el diseño de materiales cada vez más ligeros han incrementado el uso de las estructuras metálicas, por lo que el número de edificios que la utilizan van rápidamente en aumento. Para garantizar la sismo-resistencia de una estructura es de vital importancia asegurar el paso de las cargas en la superestructura hacia la cimentación. (Fuentes et al., 2018)

Una estructura metálica necesita elementos complementarios que son de igual importancia que los elementos principales porque hacen el diseño más práctico y rápido a la hora del montaje además de que permiten la transmisión de esfuerzos desde la superestructura hacia el sistema de fundaciones o transmisión de cargas en sistemas mixtos. (Chacón et al., 2018)

Estos elementos complementarios son las placas base en columnas, pernos de anclaje y placas de soporte que sirven de unión de vigas metálicas a columnas de hormigón en sistemas estructurales mixtos y entre la cimentación y columnas metálicas.

Metodología

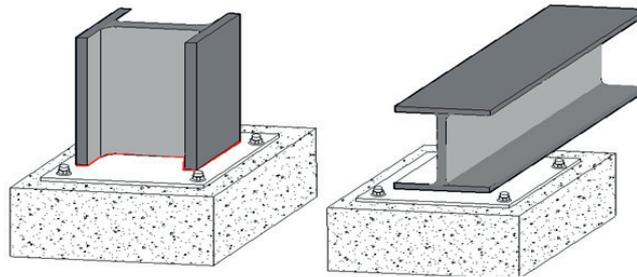
En la actualidad existen distintas normas de diseño para el análisis de los elementos complementarios, las cuales se diferencian en función del material del cual está compuesta la estructura metálica. Entre ellas podemos mencionar a la Norma AISC para perfiles estándar laminadas en caliente y la Norma AISI para perfiles de lámina delgada conformados en frío aplicando para cada una de ellas el método bajo cargas de servicio ASD ó el método para cargas últimas LRFD. Adicional de ello están procedimientos analíticos de casos tipificados y ampliamente corroborados experimentalmente como los descritos en la Guía de Diseño 1 para Placas Base y Pernos de Anclaje del American Institute of Steel Construction (Fisher & Kloiber, 2006) los cuáles comprenden un procedimiento bastante extenso e iterativo que puede ocasionar que el tiempo empleado para el diseño sea considerable, desgastante y debido al número de iteraciones puedan presentarse errores matemáticos. Esto puede ocasionar elementos sobredimensionados lo cual generaría la utilización de recursos económicos innecesarios o a su vez generar elementos sub-dimensionados que indicaría una resistencia menor a la requerida provocando grandes problemas en el comportamiento de la estructura frente a la ocurrencia de eventos adversos, como grandes pérdidas tanto económicas como humanas para nuestra sociedad.

Este programa aplica los distintos criterios utilizados en la implementación del diseño de placas de soporte y placas base para columnas metálicas tanto a flexo-compresión uniaxial como a flexo-compresión biaxial, tomando en consideración que la resistencia de los anclajes depende de las propiedades del acero y del tamaño del anclaje.

Por lo que las iteraciones para un óptimo diseño van a ir en función de la resistencia de la porción empotrada del anclaje depende de su longitud de empotramiento, resistencia del hormigón, de la proximidad de otros anclajes, distancia a los bordes libres, y de las características del extremo empotrado del anclaje.

Figura 1

Elementos complementarios a analizar con el software ANCHOR DESIGN.



Fuente: Adaptado de la Guía de Diseño AISC (2006)

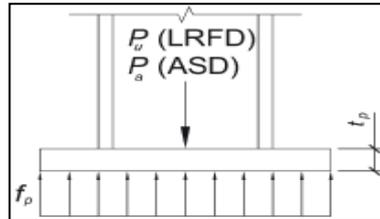
Nota: Elementos que forman parte del sistema constructivo de placas de anclaje para columnas y vigas metálicas.

Placas base.- Las placas base para columnas, dependiendo del tipo de apoyo y de las solicitaciones, se diseñan para resistir el momento y el cortante, los cuales se deben considerar de manera independiente, asumiendo que no existe una interacción significativa entre los dos según Bermúdez, C. (2005). Para el diseño, las dos normas AISC y AISI utilizan el mismo procedimiento de cálculo, pero con propiedades mecánicas diferentes pertenecientes a cada material. Adicional también considera los esfuerzos a los cuáles está expuesto como:

- CASO I: Considerando únicamente cargas axiales. - Cuando una columna está sometida únicamente a cargas axiales, la placa base debe ser diseñada de tal manera que sus dimensiones sean suficientes para resistir las presiones ejercidas por el hormigón y la columna, por lo que es necesario conocer como éstos influyen en el dimensionamiento de la placa base, como se muestra en la “Figura 2”.

Figura 2

Distribución uniforme de cargas axiales en una placa base.



Fuente: Guía de Diseño AISC (2006)

Nota: El programa ANCHOR DESIGN contempla el diseño de los anclajes para el caso I (únicamente carga axial).

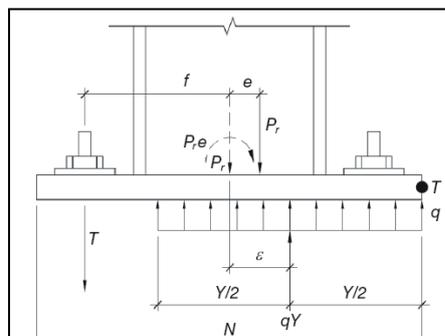
- CASO II: Considerando cargas axiales y momento flector. - Cuando una columna está sometida a momento flector, su diseño está relacionado con la excentricidad equivalente, es decir:

Cuando $e \leq e_{crit}$

Para estas excentricidades, es decir para excentricidades equivalentes menores a excentricidades críticas, la fuerza axial es resistida sólo por aplastamiento, sin fuerza de tensión; no habrá tendencia al volcamiento por lo que el anclaje no interviene en el equilibrio de momentos, como se muestra en la “Figura 3”.

Figura 3

Distribución uniforme de cargas axiales y momento flector con excentricidades pequeñas.



Fuente: Guía de Diseño AISC (2006)

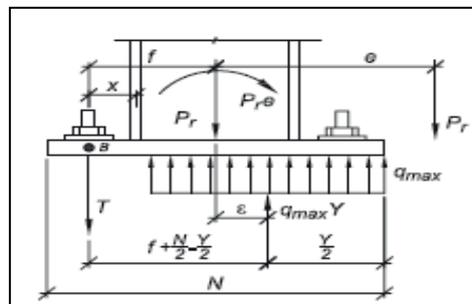
Nota: El programa ANCHOR DESIGN contempla el diseño de los anclajes para el caso II (considerando una combinación de carga axial con excentricidad).

Cuando $e > e_{crit}$

Para éstas excentricidades, es decir cuando la excentricidad equivalente es mayor a la excentricidad crítica, es necesario usar la resistencia a tensión de los pernos o varillas de anclaje, es decir cuando la magnitud del momento de flexión es grande en relación a la carga axial de la columna, los pernos o varillas de anclaje están obligadas a conectar la placa base a la base de hormigón para que la base no se voltee, ni falle el hormigón en la distribución de compresión de esfuerzos, como se muestra en la “Figura 4”.

Figura 4

Distribución uniforme de cargas axiales y momento flector con excentricidades grandes.



Fuente: *Guía de Diseño AISC (2006)*

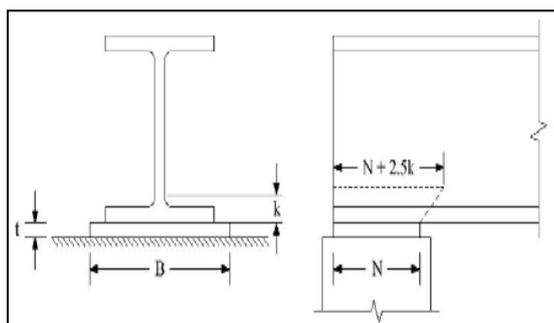
Nota: El programa ANCHOR DESIGN contempla el diseño de los anclajes para el caso II (considerando una combinación de carga axial con excentricidad mayor a la crítica).

Placas de soporte.- Las placas de soporte son elementos de transición que son necesarios cuando los extremos de la viga de acero se apoyan directamente sobre el hormigón y distribuyen los esfuerzos o reacciones de la viga. Días, L. (2006) menciona que la metodología de diseño de placas de soporte es parecida a las placas base, su principal diferencia es que el diseño de estas placas se realiza a

flexión en una sola dirección y se debe considerar la fluencia y el aplastamiento del alma de la viga a distancias críticas que se observan en la “Figura 5”.

Figura 5

Longitudes críticas de una placa de soporte



Fuente: Guía de Diseño AISC (2006)

Nota: El programa ANCHOR DESIGN contempla el diseño de los anclajes para vigas metálicas.

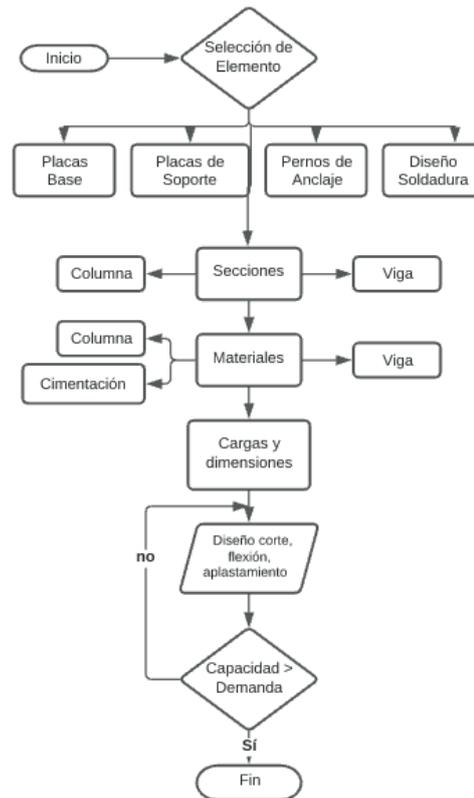
A partir de lo anterior, es necesario conocer los estados de falla que pueden ocurrir en cada elemento, tales como: Fluencia por tensión, Fractura por tensión, Fluencia por cortante, Fractura por cortante, Bloque de Cortante, Aplastamiento del elemento, Cortante en el perno, etc, los mismos que son aplicados de acuerdo a las Normas (ANSI/AISC 358-16, 2016), (ANSI/AISC 341-16, 2016), (ANSI/AISC 360-16, 2016) y que son considerados en la programación interna del software.

El software ANCHOR DESIGN presenta una interfaz gráfica interactiva dentro de sus ventanas, con la cual el usuario puede seguir paso a paso cada uno de los cálculos realizados para el diseño de conexiones y así verificar los resultados presentados. En particular, el usuario debe seleccionar y especificar los elementos requeridos (elemento requerido, perfiles, cargas, propiedades geométricas, materiales).

El procedimiento realizado se puede observar en el flujograma de la interfaz gráfica la cual es similar para todos los anclajes de acuerdo con la normativa (ANSI/AISC 358-16, 2016) como se muestra en la Figura 6 que fue programada utilizando en gran parte programación basada en objetos. El software desarrollado se puede utilizar en cualquier computador con procesador mínimo de 1.0 GHz y una memoria superior a 1.0 GB para su correcto funcionamiento.

Figura 6

Diagrama de flujo para el diseño de los elementos complementarios.



Nota: Diagrama de flujo que utiliza el programa ANCHOR DESIGN para el diseño de anclajes de columnas y vigas metálicas basado en una programación orientada a objetos.

ANCHOR DESIGN cuenta con un menú de conexiones con ejemplos manuales de 3 tipos de conexiones, normas AISC y un manual de usuario en el que se explica el manejo del software. En la Figura 5 se observa la interfaz del menú principal del software.

Todas las ventanas que componen el programa ANCHOR DESIGN contienen un código base que contiene todas las variables globales del sistema que permiten el paso de información de una interfaz gráfica a otra y el orden de ejecución del mismo programa. Posterior a la interfaz principal el programa requiere especificar el tipo de material del perfil de la conexión con el fin de establecer la norma de diseño Norma AISC (Perfiles Laminados en Caliente) o Norma AISI (Perfiles Laminados en Frío) y

se especificará el elemento a diseñar como se muestra en la Figura 7 y el tipo de flexión al cual va a estar sometida Uniaxial o Biaxial.

Figura 7

Interfaz del menú principal de ANCHOR DESIGN.



Una vez seleccionada las especificaciones generales, el programa da la opción de escoger el tipo de elemento complementario a diseñar (placa base, placa de soporte, pernos de anclaje, soldadura), sin embargo, es posible realizar todo el análisis completo de todos los elementos como se muestra en la Figura 8.

Figura 8

Interfaz del menú principal de ANCHOR DESIGN.



En cuanto a la estructura del software, el ingreso de datos está programado de tal manera que el usuario tenga la facilidad de ver por categorías los datos necesarios

empezando por resistencias requeridas, características geométricas y materiales. Además, ANCHOR DESIGN muestra una interfaz gráfica para la visualización de errores, consulta de normas, elementos complementarios (manual de usuario, calculadora) y exportación de la tabla de resultados como se muestra en la Figura 9.

Figura 9

Interfaz gráfica para el ingreso de datos

Diseño Placa Base

Resistencia Requerida [Ton]

	Axial	Corte	Momento
D =	50	0	0
L =	5	0	0
Ex =	3	0	0
Ey =	3	0	0

Características de la Columna

Tipo de Sección: 1
Forma de Sección: LAMINADA
dh [cm] = 32.250
kTf [cm] = 3
bf [cm] = 30.900
tw [cm] = 2

Características del Acero

Tipo de Acero: A36
Fy [kg/cm²] = 2531.16
Fu [kg/cm²] = 4100
E [kg/cm²] = 2043000

Características del Hormigón

F'c [kg/cm²] = 211

Relación entre cimentación y placa base = 1
Distribución de Esfuerzos: UNIFORME

Botones: Retroceder, Continuar, Salir

Resultados

Con la finalidad de validar los procedimientos de cálculo y asegurar la precisión de los resultados presentados por ANCHOR DESIGN, se comparan con ejemplos realizados de forma manual y en comparación con otros autores, referente a diseños de placas base, placas de soporte, pernos de anclaje y soldadura y se comparan con los valores proporcionados por el software con el fin de ver la diferencia de cálculo.

Placas Base

Para la comprobación del análisis se verifica con un análisis desarrollado de la siguiente manera, el cual es extraído del (AISC Seismic Design Manual, 2006), en el cual se desea diseñar la placa base considerando distribución uniforme de esfuerzos y momentos. El material de la cimentación es un f'_c de 210 kg/cm² y los perfiles con un acero de fluencia de 2531 kg/cm².

Tabla 1

Datos de diseño para la placa base.

Cargas	Especificaciones de los materiales y secciones	
$P_D = 45,36 \text{ Ton}$	MATERIALES	SECCION COLUMNA
$P_L = 72,57 \text{ Ton}$	$F_y = 2,53 \text{ Ton/cm}^2$	$b_f = 30.988 \text{ cm}$
$M_D = 2.500 \text{ Ton} - \text{cm}$	$f'c = 0,21 \text{ Ton/cm}^2$	$d = 32.258 \text{ cm}$
$M_L = 30.00 \text{ Ton} - \text{cm}$		

Una vez seleccionada el elemento complementario Placa Base, se muestra la interfaz gráfica de Datos como se muestra en la Figura 10, presenta las opciones que permiten al usuario ingresar los datos requeridos para la columna y cimentación como: perfiles, cargas, propiedades geométricas y materiales. Una vez ingresados los datos, se presiona el botón *Continuar*, y automáticamente el programa hace la iteración de cálculo.

Figura 10

Interfaz para el ingreso de datos y revisión de los límites de precalificación.



Una vez que todas las verificaciones sean satisfactorias se procede a presionar el botón *Continuar* la misma que nos lleva a nuestra última interfaz donde se puede visualizar una tabla de resumen con todos los valores ingresados y calculados por el programa como son resistencias, características geométricas de la placa base y de la cimentación (Figura 11). La iteración del programa la realiza con la consideración de incorporar o no atiesadores, los cuales sirven para disminuir el

espesor de la placa. Esta consideración permite al usuario considerar el criterio ingenieril para escoger la mejor opción de acuerdo al costo del proyecto.

Figura 11

Interfaz de resumen de la conexión.

RESULTADOS PLACA BASE

Resistencia Requerida [Ton]		Resistencia Disponible [Ton]	
Método LRFD	Método ASD	Método LRFD	Método ASD
Pu = 170.544	Pa = 117.93	Pu = 34.47	Pa = 54.92
Vu = 0	Va = 0		
Mu = 78	Ma = 55		

Dimensiones de la Placa Base	
Método LRFD	Método ASD
N [cm] = 88	98
B [cm] = 87	97
Con Atiesadores	
	7.78
Sin Atiesadores	
	11.6

Dimensiones de la Cimentación	
Método LRFD	Método ASD
N2 [cm] = 88	98
B2 [cm] = 87	97

Diagrama de la placa base y cimentación con dimensiones N, B, N2, B2 y espesores de placa.

Retroceder Salir

Los resultados obtenidos con el software ANCHOR DESIGN se compararon con el ejemplo extraído del AISC Seismic Design Manual (Fisher & Kloiber, 2006), La diferencia porcentual se calculó mediante la siguiente ecuación (Estuardo Son, 2018).:

$$Diferencia \% = \left(\frac{ANCHOR DESIGN}{OTROS RESULTADOS} - 1 \right) \times 100\% \quad (1)$$

A continuación, se muestra una tabla comparativa de resultados donde puede ver la diferencia porcentual entre ellos:

Tabla 2*Comparación de resultados conexión RBS.*

Descripción	Guía de Diseño AISC	Software	Unidades	Diferencia
Carga Axial de Diseño (Pu, LRFD)	170,540	170,54	Ton	0,00%
Carga Axial de Diseño (Pu, ASD)	117,93	117,93	Ton	0,00%
Momento Flector de Diseño (Mu, LRFD)	7.800	7.800	Ton-cm	0,00%
Momento Flector de Diseño (Mu, ASD)	5.500	5.500	Ton-cm	0,00%
Largo placa base (N, LRFD)	88,00	88,00	cm	0,01%
Largo placa base (N, ASD)	98,00	98,00	cm	0,00%
Ancho placa base (B, LRFD)	87,00	87,00	cm	0,01%
Ancho placa base (B, ASD)	97,00	97,00	cm	0,003%
Espesor de la placa base con atiesador (tca, LRFD)	-	7,78	cm	0,00%
Espesor de la placa base con atiesador (tca, ASD)	-	9,82	cm	0,00%
Espesor de la placa base sin atiesador (tsna, LRFD)	11,60	11,60	cm	0,00%
Espesor de la placa base sin atiesador (tsna, ASD)	14,66	14,66	cm	0,00%
Tiempo de análisis	3 – 15 min	0,02 min		99,33%

Como se pudo apreciar en el caso anterior, la forma de diseñar en ANCHOR DESIGN es fácil e intuitivo y lo principal es que en las tablas comparativas de resultados se puede ver la diferencia porcentual entre ellos, en la cual la mayor diferencia se puede ver en el tiempo de análisis lo cual nos demuestra que con el software se puede ahorrar bastante tiempo de cálculo, además que nos da resultados adicionales como la incorporación del espesor con atiesadores y la resistencia disponible o capacidad a la que llega la placa base con éstos elementos.

Placas de Soporte

Los datos obtenidos para el diseño son para el anclaje de una viga tipo IPE-360 acero A36. Se escogieron estos perfiles puesto que son de fácil acceso en nuestro medio además que estos perfiles son de alta ductilidad. A continuación, se presenta la tabla comparativa de los resultados obtenidos por el diseño manual con un

ejemplo de la Guía de Diseño AISC, 2006, así como también los obtenidos por el programa ANCHOR DESIGN.

Tabla 3

Comparación de resultados placas de soporte

Descripción	Guía de Diseño AISC	Software	Unidades	Diferencia
Carga axial de diseño (Pu, LRFD)	81,30	81,30	Ton	0,00%
Carga axial de diseño (Pu, ASD)	64,43	64,42	Ton	0,004%
Capacidad axial (Pu, LRFD)	8.210	82,10	Ton-cm	0,00%
Capacidad axial (Pu, ASD)	7.115	7.112	Ton-cm	0,06%
Largo placa de soporte (N, LRFD)	24,00	24,00	cm	0,01%
Largo placa de soporte (N, ASD)	25,00	25,00	cm	0,00%
Ancho placa de soporte (B, LRFD)	30,00	30,00	cm	0,01%
Ancho placa de soporte (B, ASD)	36,00	36,00	cm	0,003%
Espesor de la placa de soporte (t, LRFD)	4,05	4,07	cm	0,02%
Espesor de la placa de soporte (t, ASD)	3,97	3,99	cm	0,02%
Tiempo de análisis	1 – 5 min	0,01	min	99,33%

Pernos de Anclaje

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos por el diseño manual, así como también los obtenidos por ANCHOR DESIGN para el cálculo de la medida y cantidad de pernos de anclaje para una columna W10x45, con la finalidad de realizar una comparativa entre las mismas.

Tabla 4*Comparación de resultados para pernos de anclaje*

Descripción	Guía de		Unidades	Diferencia
	Diseño	Software		
	AISC			
Carga axial de diseño (Pu, LRFD)	15,20	15,20	Ton	0,00%
Carga axial de diseño (Pu, ASD)	12,00	12,00	Ton	0,00%
Corte de diseño (Vu, LRFD)	10,80	10,80	Ton	0,00%
Corte de diseño (Vu, ASD)	8,00	8,00	Ton	0,00%
Momento flector de diseño (Mu, LRFD)	1.240	1.240	Ton-cm	0,00%
Momento flector de diseño (Mu, ASD)	900	900	Ton-cm	0,00%
Diámetro (ϕ)	4,85	4,85	cm	0,00%
Número de pernos (Nreq)	4	4	-	0,00%
Separación de pernos (s)	3,16	3,18	cm	0,00%
Penetración del perno (H)	15,00	15,00	cm	0,00%
Pretensión mínima del perno (σ)	12,70	12,70	Ton	0,00%
Juntas Apernadas: Dimensión del agujero (d)	2,00	2,06	cm	0,02%
Juntas Soldadas: Dimensión del agujero parte superior (dsup)	3,22	3,21	cm	0,02%
Juntas Soldadas: Dimensión del agujero parte inferior (dinf)	2,06	2,06	cm	0,00%
Tiempo de análisis	3 – 7 min	0,06 min		99,71%

Discusión

De acuerdo con la hipótesis previamente establecida en esta investigación se corrobora que al utilizar un software computacional de cálculo se logra una reducción de tiempo empleado en el análisis y diseño de elementos de anclaje y con ello también se evitan errores de cálculo y facilita las iteraciones automáticamente.

Los porcentajes de diferencia con los ejercicios desarrollados manualmente extraídos del AISC Seismic Design Manual son mínimos y se dan principalmente por la aproximación en números decimales y por el rango de iteración que se realiza, sin embargo, estas diferencias son prácticamente mínimas por lo que se puede

Cuando se utilizan pernos de agujero de ranura es necesario tomar en cuenta si la fuerza de aplastamiento es paralela o perpendicular.

El diseño de pernos de anclaje es un proceso de iteración con el mínimo número de pernos de 4, en el que si no se cumple alguna condición se debe aumentar el diámetro del perno de anclaje al inmediato superior.

Por último, es verificable que éste software libre logra una reducción de tiempo empleado en el análisis y diseño de conexiones precalificadas a momento y evitan una posibilidad de error de cálculo manual que puede ocurrir debido a diferentes factores humanos.

Bibliografía

AISC. (2010). *Seismic Design Manual*. Chicago: American Institute of Steel Construction.

ANSI/AISC 341-16. (2016). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. Chicago.

ANSI/AISC 358-16. (2016). *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*. En American Institute of Steel Construction. Chicago.

ASCE 7-16. (2016). *Chapter 12: Seismic design requirements for building structures*. En Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures (págs. 90-92). Virginia: American Society of Civil Engineers.

Alcocer, S. (2003). *Comportamiento y diseño de estructuras de concreto reforzado con uniones de elementos*, Centro Nacional de Prevención de Desastres e Instituto de Ingeniería, México: Ciudad de México.

Bermúdez, C. (2005). *Curso básico de estructuras metálicas*, 1era.Edición, Universidad Nacional de Colombia, Colombia: Manizales.

Brokenbrough, R.L., y Merrit, F.S. (1997). *Manual de diseño de estructuras de acero*, 2da.Edición, McGraw-Hill, Colombia: Bogotá.

Bruneau, M., Uang, C.-M., & Sabelli, R. (2011). *Ductile Design of Steel Structures*. New York: McGraw-Hill.

Cabrera, E.M., y Suquillo, B.J. (2013). Tesis previa a la obtención de título de Ingeniera Civil: *Implementación de una herramienta computacional para el cálculo de anclajes para vigas y columnas metálicas utilizando una aplicación del programa Matlab*, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador: Quito.

- Días, L. (2006). *Estructuras de acero: conceptos, técnicas y lenguaje*, 1era.Edición, Zigurat, Chile: Santiago de Chile.
- Drake, R., y Elkin S. (1999). *Beam-Column Base Plate Design LRF Method*, Engineering Journal Vol.36, N°1, American Institute of Steel Construction AISC, Chicago.
- FEMA 350. (Junio de 2000). *Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings*. En Federal Emergency Management Agency. California.
- Fisher, J., y Kloiber, A., (2006). *Steel Design Guide: Base plate and anchor rod design*, Second Edition, American Institute of Steel Construction AISC, Estados Unidos de América.
- Núñez E., y Herrera R., (2017). *Investigación en Acero: Desarrollo de Conexiones a Momento en Chile*, Acero Sustentable - Noticias, Instituto Chileno del Acero (ICHA), Chile
- NEC-SE-AC. (2014). *Estructuras de Acero. En Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Quito, Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- Orozco L.D., Tesis previo a la obtención de título de Ingeniero Civil: *Programa para el diseño y revisión de placas base y anclas para columnas de acero*, 2009, Universidad de las Américas Puebla, Puebla, México.
- Silvia, G. (2007). Tesis previa a la obtención de título de Ingeniera Civil: *Programa para el diseño de columnas compuestas sujetas a flexo-compresión biaxial por los métodos: LRFD, ACI y EUROCÓDIGOS 3*. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador: Quito.

Influencia sobre el cortante basal y derivas de edificaciones al incluir una fracción de la carga viva en la carga sísmica reactiva

Influence on the building base shear and drifts when adding a fraction of the live load to the effective seismic weight

Brian Cagua-Gómez¹; Adrian Tola-Tola²; Julia Pilatasig-Caizaguano³; Paúl Aguilar-Rosero⁴;

¹Universidad de las Fuerzas Armadas, Posgrado/ Ingeniería Civil, Sangolquí - Ecuador, bjcagua@espe.edu.ec

²Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca / Ingeniería Civil, Cuenca – Ecuador, atolat@ups.edu.ec

³Universidad de las Fuerzas Armadas, Posgrado/ Ingeniería Civil, Sangolquí - Ecuador, jepilatasig3@espe.edu.ec

⁴Universidad de las Fuerzas Armadas, Posgrado/ Ingeniería Civil, Sangolquí - Ecuador, psaguilar1@espe.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.31243/id.v16.2022.1667>

Resumen

Este artículo estudia el impacto sobre el cortante basal y la deriva de piso al incluir una fracción de carga viva en el cálculo de la carga sísmica reactiva. Los análisis incluyen la variación del periodo de vibración causada por un incremento en la carga reactiva; la correspondiente variación en la aceleración espectral y el cortante basal se evalúa utilizando el espectro elástico de diseño de la normativa sismorresistente de Ecuador para tres ubicaciones distintas y un tipo de suelo seleccionado. Análisis fueron conducidos en múltiples estructuras de baja altura para investigar los cambios en las derivas. Se encontró que la inclusión de una fracción de la carga

viva en la carga reactiva conlleva a un incremento del cortante basal y derivas; la magnitud de este incremento depende de la ubicación del periodo estructural respecto al periodo donde termina la zona de aceleración espectral constante, y la relación entre carga viva y muerta de la estructura.

Palabras clave:

Carga sísmica reactiva, cortante basal, derivas, CEINCI-LAB, Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Abstract

This article studies the impact on the base shear and floor drift when including a fraction of the live load in the effective seismic weight. The analyses consider the variation in the building period of vibration due to an increase in the effective seismic weight; the corresponding changes in the spectral acceleration and base shear are evaluated using the elastic design spectrum given by the Ecuadorian seismic code, for three different locations and a selected type of soil. Analyses were also conducted in several low-rise structures to study the changes in the drift. It was found that including a fraction of the live load in the effective seismic weight produces an increase in the base shear and drifts; the magnitude of such increase depends on the building period of vibration, and the relation between live and dead loads.

Keywords:

Reactive seismic load, base shear, drifts, CEINCI-LAB, Ecuadorian Seismic Code.

Introducción

La carga sísmica reactiva (o carga reactiva) es determinante en el cálculo de la fuerza sísmica que actúa sobre una estructura; algunas normativas de diseño sismorresistente definen dicha carga reactiva como la suma del peso propio de la edificación y la sobrecarga permanente; mientras que otras normativas incluyen

adicionalmente una fracción de la carga viva que varía de acuerdo con el tipo de uso de la edificación (residencia, bodega, etc.).

Durante un evento sísmico las personas experimentan vibración y movimiento de sus extremidades, así como dificultades en sostener el equilibrio; aquello sugiere un desacoplamiento parcial entre las personas y el piso en el cual se sostienen; sin embargo, es razonable considerar que al menos una fracción del peso de las personas en una edificación contribuye a la masa que se mueve junto con la estructura. Si a esto se suma el hecho de la ocurrencia de un evento sísmico puede coincidir con altas tasas de carga viva presente en las edificaciones (por ejemplo, escuelas, hospitales, centros comerciales), entonces es razonable la inclusión de un porcentaje de la carga viva en la carga reactiva. Además, es probable que algunos elementos como armarios, muebles u otros similares actúen como elementos fijos a la estructura, aportando de esta manera a la carga reactiva. La determinación de la fracción “precisa” de la carga viva que influye en la respuesta sísmica de una estructura es un problema complejo; existe mucha incertidumbre al respecto y por ello algunos autores proponen ecuaciones para casos específicos de análisis.

En el trabajo de Reyes et al. (2018) se desarrolla una expresión de diseño con el fin de estimar la porción de la carga viva que se debe considerar como masa efectiva durante un sismo; los modelos consideran estructuras de baja altura destinadas para almacenamiento, y los lugares seleccionados para el estudio incluyen zonas de alto, intermedio y bajo peligro sísmico, de acuerdo con la normativa NSR-10 (2010). Las tres alternativas de modelos produjeron esencialmente las mismas series de tiempo, lo cual generó confianza en el modelo numérico desarrollado. Los resultados de Reyes et al. (2018) sugieren que el uso de la carga viva mínima establecida por el ASCE/SEI 7-10 podría conducir a subestimar significativamente las demandas de derivas en instalaciones destinadas al almacenamiento. Los errores no son conservativos y en algunos casos son hasta mayores al 100% respecto a la respuesta real. El estudio estableció un algoritmo para calcular un

coeficiente λ entre 0 y 1 que determina la porción del bloque de masa que es efectiva como peso sísmico. El uso del 25% de almacenamiento de carga viva como peso sísmico produjo derivas de hasta el 20% menos que aquellas obtenidas con el modelo que incluye objetos de carga viva deslizantes.

Dentro de la misma línea de investigación, Ardila, B. (2014) realizó modelos numéricos (de un grado de libertad) y experimentales para describir el comportamiento sísmico de estructuras de 1 piso. El autor propone también una ecuación que permite calcular el porcentaje de la carga viva que debe considerarse como masa sísmica para el diseño de estructuras de almacenamiento de 1 piso.

La influencia de la carga viva en la carga reactiva también ha sido estudiada por Challagulla et al. (2020); dicho trabajo presenta un modelo numérico para simular la interacción dinámica entre una estructura primaria y un conjunto de cuerpos apilados descansando sobre aquella y con posibilidad de deslizarse. Se propone un método para calcular un período estructural modificado para usarlo en el diseño y de esta manera considerar la influencia de la carga viva en el análisis. Al igual que en los dos trabajos anteriores, Challagulla et al. (2020) proponen una expresión de diseño (verificada con los resultados experimentales) para estimar la fracción de la carga viva a ser incluida como inercia en el diseño sísmico de la estructura primaria. El estudio determinó que dicha porción está en función de la aceleración estructural total y el coeficiente de fricción entre la carga viva y la estructura. El estudio de Challagulla et. al. (2020) contempló edificios de corte aporticados de múltiples grados de libertad y se realizó un estudio paramétrico para cuantificar la fracción de la carga viva que contribuye a la carga reactiva. Los resultados indicaron que la estructura primaria es grandemente afectada por carga viva consistente en objetos apilados bajo movimientos sísmicos reales.

A diferencia de la NEC-SE-DS (2015), varias normativas de diseño sismorresistente incluyen una fracción de la carga viva en el cálculo de la carga reactiva. La Tabla 1

presenta un resumen de dichas fracciones para distintas normativas y diferentes tipos de uso.

Tabla 1

Fracción de carga viva considerada en el cálculo de la carga reactiva

Norma	País	Depósitos o bodegas	Edificios	Azoteas, techos, marquesinas	Edificios esenciales e importantes	Áreas para congresos o comercial
NEC-SE-DS (2015)	Ecuador	0,25				
CÓDIGO DISEÑO SÍSMICO (2010)	Costa Rica	0,25	0,15			
NSR-10 (2010) CAPÍTULO A	Colombia	0,25				
NORMA E.030 (2018)	Perú	0,80	0,25	0,25	0,50	
EUROCÓDIGO 8 ^a (2004)	Europa	0,80	0,30		0,80	0,60
ASCE 7-16 (2016)	EEUU	0,25				
NCH 433 ^b (2009)	Chile		0,25		0,50	
NCH 2369 (2003)	Chile	0,50				

Notas. ^a Para pisos con ocupación independiente multiplica por 0,50; para ocupación correlacionada por 0,80; techos 1,0.

^b 0,25 donde no es usual la aglomeración de personas o cosas y 0,50 donde es usual.

Cabe resaltar que las fracciones de la carga viva citados en la Tabla 1 son, en algunos casos, fracciones mínimas recomendadas, y el diseñador puede escoger una fracción superior en caso lo amerite. Se puede notar en la Tabla 1 que la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-SE-DS (2015), establece un porcentaje de carga viva correspondiente al 25% únicamente en el caso de bodegaje y almacenamiento. La normativa de Costa Rica incluye un porcentaje de carga viva de 15% para edificaciones residenciales, mientras la normativa sismorresistente de Perú y Chile sugieren un valor de 25% y la normativa europea recomienda 30%.

Este artículo tiene como propósito analizar el impacto sobre el cortante basal y las derivas al incluir una fracción de la carga viva en la carga reactiva; dicho impacto es

analizado en edificaciones con distinto tipo de uso para escenarios sísmicos de tres ciudades de Ecuador.

Metodología

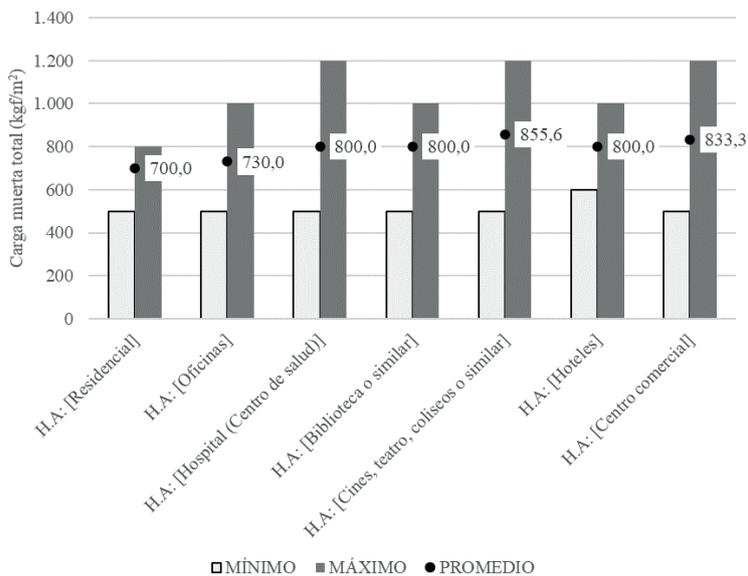
La conducción de este estudio comprende 3 etapas; en la primera se plantea obtener la relación entre la carga viva y la carga muerta para distintas edificaciones en función de su uso. Una vez concluida esta etapa, se procede a la evaluación del impacto en el cortante basal al incluir una fracción de la carga viva en la carga sísmica reactiva. La última etapa consiste en evaluar el impacto producido en la deriva de piso con las variaciones planteadas en la carga sísmica reactiva. Las siguientes secciones describen en detalle cada una de estas etapas.

a) Obtención de la relación entre la carga viva y la carga muerta para distintas edificaciones

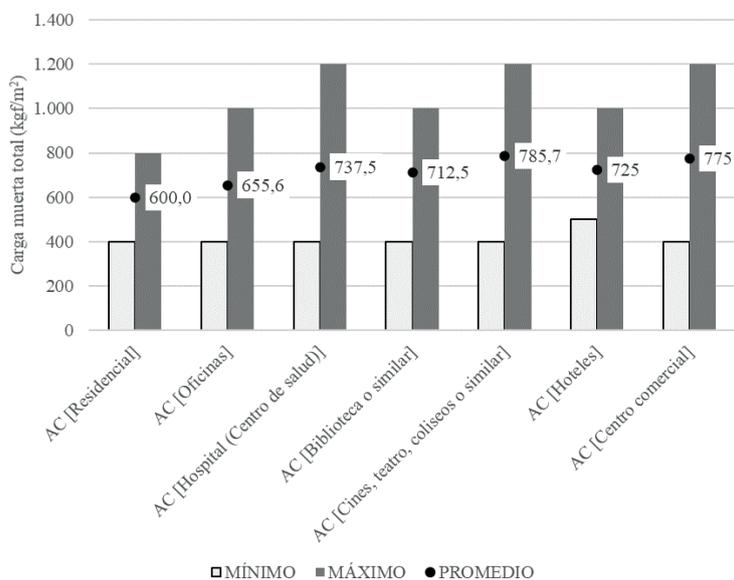
Es importante considerar que la relación entre la carga viva (denotada como “ L ”) y la carga muerta (denotada como “ D ”) varía de acuerdo con el tipo de edificación (por ejemplo, residencial, oficinas) y el material de construcción de la misma (para este estudio puede ser hormigón armado o acero estructural). Para estimar la carga muerta en distintas edificaciones se condujo una encuesta a distintos profesionales en la cual se solicitó reportar los valores de carga muerta (en kgf/m^2) obtenidos en edificaciones de uso residencial, oficinas, hospitales, bibliotecas, cines o teatros, hoteles y centros comerciales. La carga muerta reportada incluye el peso propio de la estructura y la sobrecarga permanente (peso de acabados, paredes internas, equipamiento mecánico, etc.) en estructuras de hormigón armado (denotado como “H.A”) y acero estructural (denotado como “AC”). La encuesta fue llenada por 10 profesionales y permitió identificar los valores mínimo, máximo y promedio de carga muerta para distintas edificaciones. Los resultados obtenidos para estructuras de hormigón armado y de acero estructural se indican en las Figuras 1a y 1b, respectivamente.

Figura 1

Carga muerta en función de la ocupación y material de construcción



(a) Estructuras de Hormigón Armado (H.A)



(b) Estructuras de Acero (AC)

Para cuantificar la carga viva correspondiente a los mismos tipos de edificaciones listados en la Figura 1, se emplea los valores recomendados en la sección 4.2 de la normativa ecuatoriana NEC-SE-CG (2015). Para este efecto, se asume que la estructura tiene una distribución uniforme de carga por unidad de superficie. Los valores de carga viva utilizados, de acuerdo con esta normativa se describen en la Tabla 2.

Tabla 2

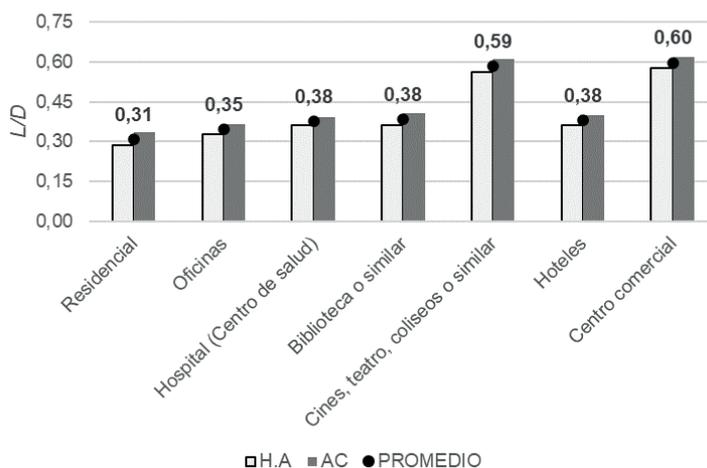
Carga viva para edificaciones con distinto uso, de acuerdo con la normativa NEC-SE-CG

Tipo de edificación	Carga viva (kgf/m ²)
Residencial	200
Oficina	240
Hospital	290
Biblioteca	290
Cine o Teatro	480
Hoteles	290
Centro Comercial	480

Una vez estimadas las cargas muertas (D) y vivas (L) para distintos tipos de edificaciones, se puede establecer la relación L/D y clasificar a las estructuras en función de esta relación. La Figura 2 muestra las relaciones obtenidas L/D para distintos tipos de estructuras, utilizando los valores promedio de carga muerta mostrados en las Figuras 1a y 1b.

Figura 2

Relación de carga viva respecto a carga muerta para edificaciones con distintos tipos de uso



b) Procedimiento para la evaluación del impacto en el cortante basal al incluir una fracción de la carga viva en la carga reactiva

El cálculo del cortante basal, de acuerdo con la normativa NEC-SE-DS (2015) se determina utilizando la siguiente expresión:

$$V = \frac{I \cdot S_a(T)}{R \cdot \phi_p \cdot \phi_e} W \quad (1)$$

en donde V es el cortante basal de diseño, I es el factor de importancia, $S_a(T)$ es la aceleración espectral correspondiente al periodo fundamental de vibración de la estructura T , R es el factor de modificación de respuesta sísmica, ϕ_p y ϕ_e son los factores de irregularidad en planta y elevación, respectivamente, y W es la carga reactiva. El presente estudio propone que la carga reactiva sea evaluada mediante la siguiente expresión:

$$W = D + xL \quad (2)$$

en donde D representa la carga muerta (peso propio más sobrecarga permanente), x es un valor que varía entre 0 y 1, y L es la carga viva.

En la Ecuación (1) se puede apreciar que el cortante basal (V) es directamente proporcional a la carga reactiva W , lo cual implicaría un posible incremento del cortante basal al aumentar la carga reactiva. Sin embargo, el aumento de la carga reactiva conlleva un aumento en el periodo de vibración, T , y una consecuente disminución de la aceleración espectral $S_a(T)$ para estructuras con periodo de vibración mayor a T_c (periodo en el cual termina la zona de aceleración constante en el espectro de diseño de la NEC-SE-DS). Por tanto, el impacto en el cortante basal al incluir una fracción de la carga viva en la carga reactiva depende tanto del incremento de la carga reactiva como de la consecuente reducción en la aceleración espectral. Para evaluar el impacto en el cortante basal al incluir una fracción de la carga viva en la carga reactiva se determina la relación F_V entre el cortante basal incluyendo una fracción x de la carga viva (V_{D+xL}) y el cortante basal calculado únicamente con la carga muerta (V_D). El parámetro F_V se determina de acuerdo con la Ecuación 3.

$$F_V = \frac{V_{D+xL}}{V_D} = \frac{S_a(T_{D+xL}) \cdot W_{D+xL}}{S_a(T_D) \cdot W_D} \quad (3)$$

en donde T_{D+xL} y T_D representan los periodos de vibración de dos sistemas de un grado de libertad con la misma rigidez y con cargas reactivas iguales a W_{D+xL} y W_D , respectivamente. Los valores de $S_a(T_{D+xL})$ y $S_a(T_D)$ corresponden a las aceleraciones espectrales para los periodos T_{D+xL} y T_D , respectivamente. Nótese que en la Ecuación (3) los factores I , R , ϕ_p y ϕ_e se simplifican y en consecuencia la influencia del cortante basal únicamente depende de la aceleración espectral y de la carga reactiva. Las variables W_{D+xL} , T_{D+xL} y T_D , se pueden obtener con las siguientes expresiones.

$$W_{D+xL} = W_D + xL \quad (4)$$

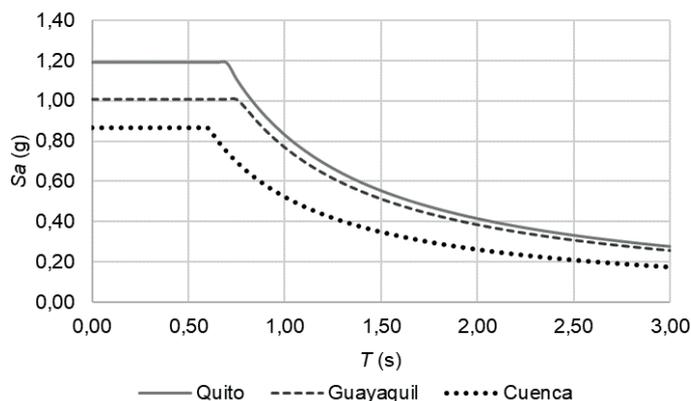
$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W_D / g}{K}} \quad (5)$$

$$T_{D+xL} = 2\pi \sqrt{\frac{(W_D + xL) / g}{K}} \quad (6)$$

en donde g es la aceleración de la gravedad y K es la rigidez del sistema estructural. La aceleración espectral correspondiente a los periodos T_{D+xL} y T_D se determina en función del espectro de diseño de la NEC-SE-DS (2015). En el presente estudio se utiliza los espectros correspondientes a las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca, para un suelo tipo D (de acuerdo con la clasificación de suelos prescrita por esta normativa). Los espectros elásticos de diseño para estas ciudades y tipo de suelo se muestran en la Figura 3.

Figura 3

Espectro de diseño para las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca, en suelo tipo D.



Se puede identificar dos zonas en cada espectro mostrado en la Figura 3; la zona en la cual la aceleración es constante y el tramo en el cual la aceleración decrece

en función del periodo de vibración (velocidad espectral constante). El valor de la aceleración espectral para estas dos regiones se expresa mediante las Ecuaciones (7) y (8).

$$S_a = \eta Z F_a \quad \text{para} \quad 0 \leq T \leq T_c \quad (7)$$

$$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \quad \text{para} \quad T > T_c \quad (8)$$

en donde η es un factor que depende de la región, Z representa la aceleración de diseño medida en roca, F_a es el coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto, y r representa un factor de ajuste para la curva del espectro y depende del tipo de suelo.

Dado que los resultados de la Figura 2 indican relaciones L/D que oscilan entre 0,30 y 0,60, la evaluación del factor F_v (Ecuación 3) se obtiene para valores de x (Ecuación 4) entre 0,30 y 0,60.

c) Metodología para evaluar el impacto en la deriva de piso al incluir una fracción de la carga viva en la carga reactiva

El incremento del cortante basal genera un aumento de las fuerzas laterales aplicadas a las estructuras; en consecuencia, dado que la NEC-SE-DS requiere que la deriva elástica sea calculada con el mismo nivel de fuerzas usado para determinar el cortante basal, la deriva también se incrementa.

La ecuación (9) permite determinar las derivas inelásticas acorde a la NEC-SE-DS (2015).

$$\Delta m = \Delta e \cdot (0.75R) \quad (9)$$

en donde Δm es la deriva inelástica y Δe es la deriva elástica.

La NEC-SE-DS (2015) indica que para determinar las derivas en estructuras de hormigón armado se debe fisurar las secciones de los elementos estructurales; no obstante, en este artículo el objetivo es evaluar la influencia de modificar la carga reactiva en las derivas máximas, por lo que los análisis consideran las secciones

sin agrietar. Además, es importante resaltar que los resultados no dependen del factor R debido a que este factor se simplifica en el cálculo, como se indica en la siguiente expresión.

$$F_{\Delta} = \frac{\Delta m_{D+XL}}{\Delta m_D} = \frac{\Delta e_{D+XL}}{\Delta e_D} \quad (10)$$

en donde los términos Δm_D y Δm_{D+XL} representan la deriva inelástica al excluir e incluir una fracción de la carga viva en la carga reactiva, mientras que Δe_D y Δe_{D+XL} representan derivas elásticas para estas mismas condiciones.

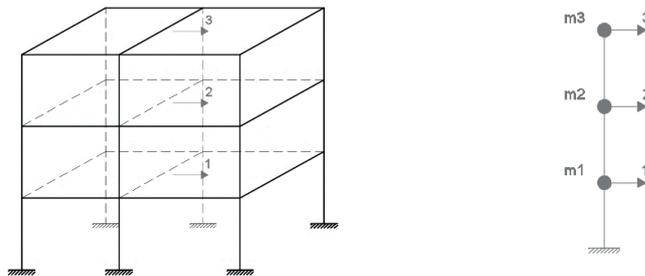
El análisis de derivas se realiza únicamente para estructuras destinadas a uso residencial, con 1, 2 o 3 pisos, con una estructura en base a pórticos a momento de hormigón armado. Los análisis se desarrollan empleando el Sistema de Computación CEINCI-LAB, considerando sistemas simplificados de 1 grado de libertad por piso con masas concentradas, como se indica en la Figura 4.

El análisis se sustenta en el cálculo de la matriz de rigidez lateral de los pórticos de la estructura en el sentido de análisis, esta matriz es el resultado de condensar la matriz de rigidez total en los grados de libertad horizontales en cada piso. Posteriormente se realiza la sumatoria de la rigidez lateral de cada pórtico para obtener la matriz de rigidez lateral de la estructura, acorde al modelo indicado en la Figura 4. Este modelo es aplicable cuando se considera que la losa de cada piso genera un diafragma rígido y cuando la estructura es regular en planta, condiciones que se cumplen para las estructuras en análisis.

Se analizó un grupo de 200 estructuras de 3 pisos, con diferentes geometrías y secciones de columnas y vigas, considerando vigas peraltadas; además 100 estructuras de una base de datos de proyectos de viviendas de 1, 2 y 3 pisos desarrollados en Quito. La metodología de cálculo se detalla en Pilatasig et al. (2020); sin embargo, en este estudio se modifican los programas para variar las fracciones de cargas vivas consideradas para la determinación de la carga reactiva.

Figura 4

Modelo para análisis de derivas



Nota: Tomado de Pilatasig et al. (2020).

Las estructuras analizadas presentan periodos de vibración del rango de 0,20 a 0,70 segundos y se verifica que las derivas máximas inelásticas sean menores al límite del 2% establecido en la normativa ecuatoriana para estructuras en base a pórticos resistentes a momento; las estructuras que cumplen estas condiciones son 228, de las cuales 135 son generadas con parámetros aleatorios y 93 son estructuras reales de proyectos en Quito.

Resultados

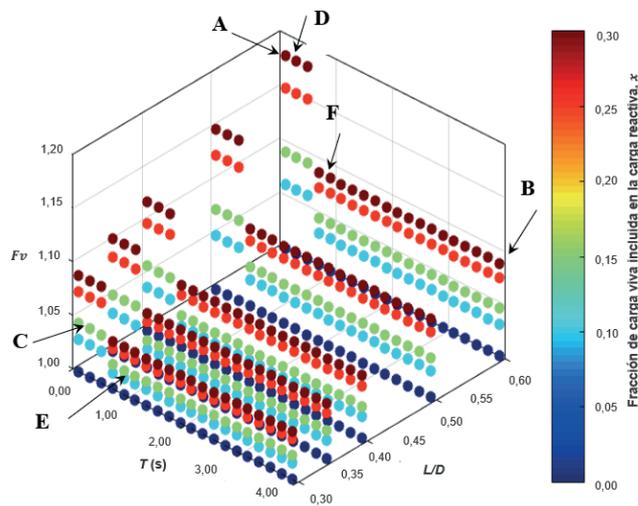
En la Figura 5 se presenta el efecto de un aumento en el cortante basal al incluir una fracción de carga viva en la carga reactiva respecto a no incluirla. Este gráfico tiene como ejes “horizontales” al periodo de la estructura (de 0,01 a 4 segundos), y a la relación entre carga viva y carga muerta (valores entre 0,30 y 0,60). El eje vertical contiene el valor del factor F_V , el cual constituye la relación entre el cortante basal incluyendo distintas fracciones de la carga viva en la carga reactiva (V_{D+xL}), y el cortante basal sin incluir un porcentaje de la carga viva (V_D).

Se puede distinguir en la Figura 5 dos zonas con distinto impacto en el valor de F_V ; la primera zona corresponde a edificaciones con periodos de vibración menores o iguales a T_c , (zona con aceleración espectral constante), en donde los valores de

F_V oscilan entre 1,00 y 1,18. La segunda zona corresponde a edificaciones con periodos de vibración mayores a T_c , en donde la velocidad espectral es constante, y los valores de F_V oscilan entre 1,00 y 1,09.

Figura 5

Influencia en el cortante basal al incluir una fracción de la carga viva en la carga reactiva, para distintos periodos de vibración



Con el objeto de analizar el valor de F_V para periodos de vibración “cortos” y “largos”, las Figuras 6 y 7 presentan cortes transversales en las dos zonas mencionadas para periodos de 0,20 y 1,00 segundo, respectivamente.

Figura 6

Influencia en el cortante basal al incluir una fracción de la carga viva en la carga reactiva, para estructuras con $T = 0,20$ s.

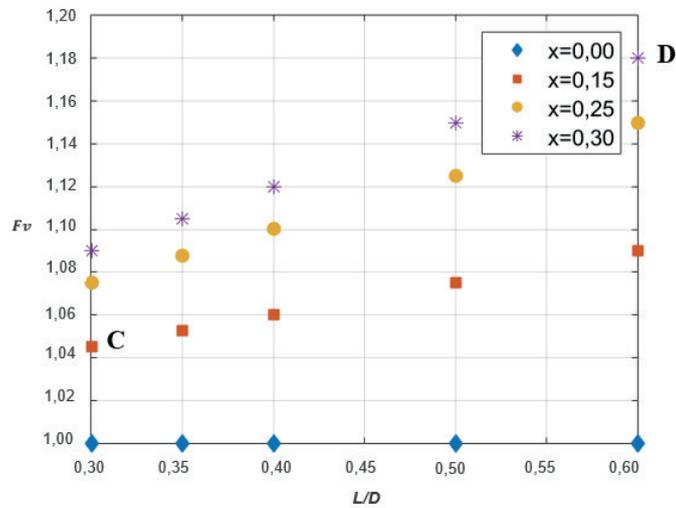
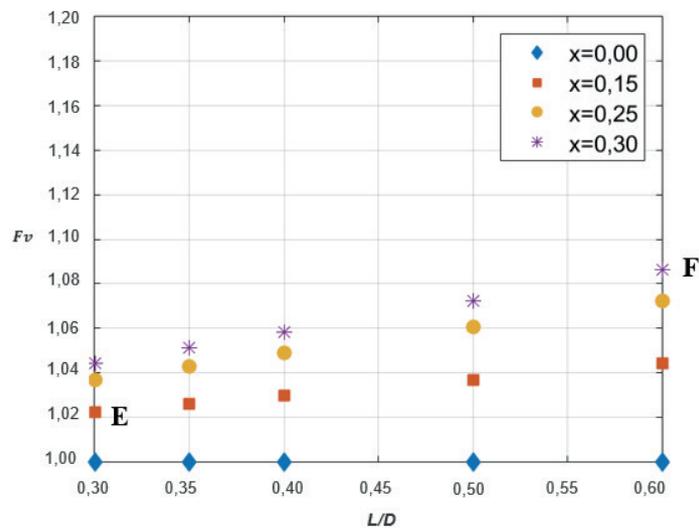


Figura 7

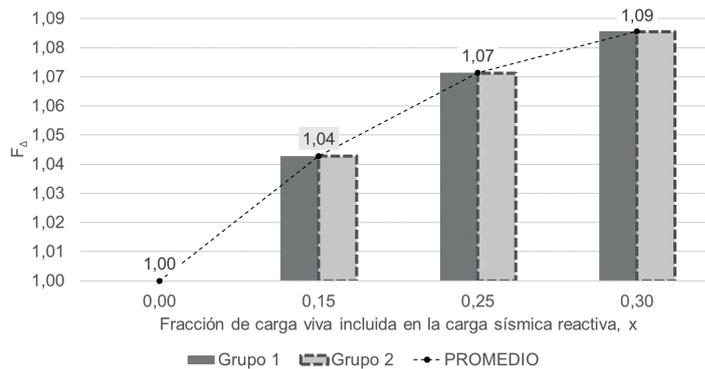
Influencia en el cortante basal al incluir una fracción de la carga viva en la carga reactiva, para estructuras con $T = 1,00$ s.



El impacto en las derivas al considerar una fracción de la carga viva en la carga reactiva fue analizado para el grupo de 228 estructuras mencionado anteriormente. Los resultados de dicho análisis se presentan en la Figura 8, en la cual se distinguen los valores obtenidos del factor F_{Δ} para cada configuración, siendo el Grupo 1 las estructuras idealizadas con vigas peraltadas y el Grupo 2 las estructuras generadas de la base de datos de viviendas reales, así como el valor promedio obtenido de todas estas configuraciones para la misma fracción L/D .

Figura 8

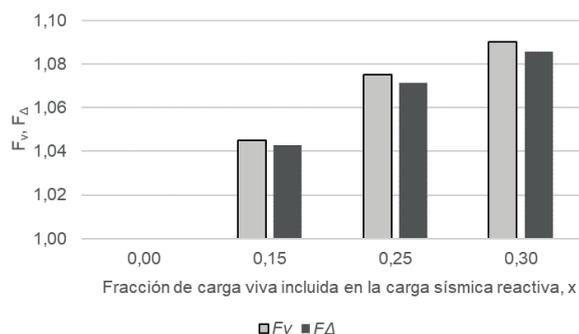
Influencia de la carga viva en la deriva máxima de piso



La Figura 9 presenta de manera conjunta el incremento de cortante basal y de derivas para distintas fracciones de carga viva incluidas en la carga reactiva; las barras mostradas en dicha figura representan el promedio de los análisis detallados previamente.

Figura 9

Influencia de la carga viva en el cortante basal y la deriva máxima de piso



Los resultados de la influencia de considerar una fracción de carga viva en la carga reactiva para el cortante basal como para las derivas se presentan en la Tabla 3, los análisis se realizan para estructuras con periodos corto y con relación L/D de 0,30 empleando los espectros de las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca con suelo tipo D. Las fracciones de carga viva consideradas son 0,15; 0,25 y 0,30 respectivamente. Se observa que no existe un cambio en el valor de F_V para las ciudades de análisis, no obstante, el factor F_{Δ} es ligeramente menor para las estructuras ubicadas en Cuenca respecto a Quito y Guayaquil.

Tabla 3

Influencia de la fracción de carga viva considerada en el cálculo de la carga reactiva en F_V y F_{Δ} , para estructuras con periodo corto y L/D=0,30.

x	F_V			F_{Δ}		
	Quito	Guayaquil	Cuenca	Quito	Guayaquil	Cuenca
0,00	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,15	1,045	1,045	1,045	1,043	1,043	1,040
0,25	1,075	1,075	1,075	1,071	1,071	1,066
0,30	1,090	1,090	1,090	1,086	1,085	1,079

Discusión

En la Figura 5 se puede evidenciar que la influencia en el cortante basal (dada por el valor de F_V) puede tener valores desde 1,00 hasta 1,18 (Punto A en la Figura 5), para una relación L/D de 0,60, para periodos menores o iguales al periodo T_c . Sin embargo, la influencia en el cortante basal es menor para periodos mayores a T_c , para todos los valores incluidos de la relación L/D . Por ejemplo, el máximo valor de F_V es igual a 1,08 para una relación L/D igual a 0,60 (Punto B en la Figura 5).

Para estructuras de uso residencial con periodo de vibración menor a T_c , representadas por la relación L/D igual a 0,30 en la Figura 6, y para un valor de $x=0,15$ se tiene un incremento en el cortante basal de aproximadamente 5% (Punto C en la Figuras 5 y 6). Así mismo, para el caso de cines y centros comerciales, con una relación L/D semejante a 0,60, y para un valor de $x=0,30$, se tiene un incremento en el cortante basal de aproximadamente 18%, para estructuras con $T=0,20$ s (Punto D en Figuras 5 y 6).

La Figura 7 muestra el impacto para el mismo tipo de edificaciones descrito en la Figura 6, pero considerando que estas estructuras tienen un periodo largo (por ejemplo, $T=1,00$ s). Para el caso de edificaciones residenciales ($L/D=0,30$) y para cines ($L/D=0,60$), para valores de $x=0,15$ y $x=0,30$, el aumento en el cortante basal es de 2% y 8,5%, respectivamente, (Puntos E y F en Figuras 5 y 6) reflejando un impacto menor comparado al de estructuras con periodo corto.

En la Figura 8 se aprecia para uso residencial, con $x=0,15$, un incremento de derivas de 4% respecto del análisis sin incluir una fracción de carga viva en el cálculo de la carga reactiva. En la sección de metodología se plantea la hipótesis

sobre un incremento proporcional de las derivas en función del incremento de fuerzas laterales, esto se puede confirmar en la Figura 9.

En la Tabla 3 se evidencia que la influencia en el cortante basal para las estructuras ubicadas en Quito, Guayaquil y Cuenca es prácticamente la misma, al incluir diferentes fracciones de carga viva en la carga reactiva; sin embargo, existe una diferencia menor en cuanto a la influencia de las derivas para la ciudad de Cuenca.

En la Tabla 4 se presenta una propuesta de fracción mínima de carga viva para la carga reactiva en función del uso de la edificación. Para azoteas, marquesinas y techos la probabilidad de tener carga viva durante un evento sísmico en estos sitios es pequeña por lo tanto se recomienda una fracción de $x=0,00$. En edificaciones residenciales, oficinas, hoteles o restaurantes es probable tener personas u objetos que pueden contribuir a la carga sísmica reactiva, la fracción de contribución es de $x=0,15$ con el objetivo de no tener incrementos de cortante basal superior a 10%, como se observa en la Figura 6 y 7 para valores de L/D de 0,30, 0,35 y 0,40 que representan las estructuras mencionadas. Bajo el mismo criterio se establece una fracción de carga viva de $x=0,25$ para estructuras esenciales destinadas a hospitales o centros de salud, además de escuelas o institutos con un uso similar en las cuales la relación L/D es aproximadamente 0,40. Para las estructuras de almacenaje, bodegas o similar se sugiere una fracción de $x=0,25$ para tener incrementos de cortante basal de 10%, sin embargo, se recomienda generar un grupo diferente al anterior debido al uso. Finalmente se sugiere una fracción de carga viva de $x=0,30$ para edificaciones como cines, teatros, áreas con aglomeración de personas o cosas.

Tabla 4

Propuesta de fracción de carga viva considerada en el cálculo de la carga reactiva en la NEC-SE-DS

Descripción	x
Azoteas, marquesinas y techos.	0,00
Edificaciones para uso residencial, oficinas, hoteles o restaurantes.	0,15
Edificaciones esenciales destinadas al sector de salud (públicos o privados), además de institutos educativos como escuelas, colegios, universidades o similares.	0,25
Edificaciones destinadas a bodegas, salas de archivos o almacenamiento.	0,25
Edificaciones empleadas para cines, teatros, salas de reuniones o de congresos, centros comerciales, estacionamientos o construcciones que tenga alta probabilidad de aglomeración de personas o cosas.	0,30

Conclusiones

El presente estudio concluye lo siguiente:

- La propuesta de las fracciones de carga viva en el cálculo de la carga sísmica reactiva hace referencia a valores mínimos y el profesional responsable del análisis y diseño estructural debe evaluar cada caso particular.
- Incluir una fracción de carga viva en el cálculo de la carga reactiva presenta un incremento en el cortante basal, consecuentemente en las fuerzas laterales y en las derivas de la estructura.
- El incremento de cortante basal es mayor en estructuras de periodo corto, es decir periodo menor a T_c , respecto a las estructuras de periodo largo; de

manera similar la influencia es mayor cuando la relación de carga viva respecto a carga muerta es mayor.

- El incremento de las derivas en función del incremento de cortante basal tiende a ser directamente proporcional en las estructuras de análisis, se sugiere realizar un análisis en estructuras con periodos de vibración mayores a T_c para evaluar si se mantiene esta proporcionalidad.

Agradecimientos

Se agradece a los profesionales que participan en la actualización de la Norma Ecuatoriana de la Construcción y que completaron la encuesta con valores de carga muerta utilizados en sus proyectos. Así mismo se extiende el agradecimiento a los miembros del subcomité 6 del proceso de actualización de la NEC-SE-DS por su valioso input en esta temática.

Bibliografía

Ardila L. (2014). *Efecto de la Carga Viva en el Diseño Sísmico de Estructuras de Almacenamiento de un Piso*. Universidad de Los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Bogotá, Colombia.

ASCE 7-16. (2016). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. USA: American Society of Civil Engineers.

Challagulla S. P., Parimi C. y Thiruvikraman P. K. (2020). *Effect of the Sliding of Stacked Live Loads on the Seismic Response of Structures*. Engineering Journal, Vol. 24, No. 4. India.

Código Sísmico de Costa Rica. (2010). *Código de Diseño Sísmico de Costa Rica Revisión 2014*. Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica.

Eurocode 8. (2004). *Design of Structures for Earthquake Resistance*. European Committee for Standardization (CEN).

NCH 2369. (2003). *Norma Chilena Oficial: Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales*. Instituto Nacional de Normalización INN-Chile.

NCH 433. (2009). *Norma Chilena Oficial: Diseño Sísmico de Edificios*. Instituto Nacional de Normalización INN-Chile.

NEC-SE-DS, Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente*. Quito: Dirección de Comunicación Social MIDUVI.

Norma Técnica E.030. (2018). *Diseño Sismorresistente*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. República del Perú.

NSR-10. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Pilatasig J., Cagua B., Aguiar R., Vaca F. (2020). *Generación Automática y Análisis de Estructuras de Hormigón Armado con CEINCI-LAB*. Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, 25(3), 421-443.

Reyes J. C., Marcillo E., Smith J. P., Ardila O. A. (2018). *Assessment of the Effective Seismic Mass for Low-Rise Framed Shear Buildings Supporting Nearly Permanent Live Loads*. American Society of Civil Engineers.

**Optimización para extracción y explotación artesanal de material pétreo,
El Tambo, Santa Elena, Ecuador**

**Optimization for artisanal extraction and exploitation of stone material, El
Tambo, Santa Elena, Ecuador**

Carmen Estela Lyle León¹

¹Universidad Estatal Península de Santa Elena UPSE , Facultad de Ciencias de la Educación e Idiomas, Carrera de educación básica, La Libertad – Ecuador
carmenlyle@hotmail.com

DOI: <https://doi.org/10.31243/id.v16.2022.1669>

Resumen

El debate de una optimización para la extracción y explotación artesanal de los recursos naturales en el país permite poner en el contexto una realidad latente que se vive en el día a día y que generan polémica en la aplicación de las leyes, lo que genera una exacerbada polémica a favor y en contra de esta, considerando al respecto las disposiciones constitucionales en la República del Ecuador. En este trabajo se realizó una investigación de campo y bibliográfica, la misma que permitió constatar en el sitio mismo de los hechos y tener evidencia fotográfica del efecto negativo que tiene este proceso de extracción, la misma que no respeta el más elemental criterio de protección del medio ambiente, además se basó en información primaria y secundaria; durante el trabajo de campo, se entablaron diálogos mediante entrevistas, reuniones y la observación in situ, entre las principales conclusiones se determina que si es compatible el respeto a la naturaleza y la extracción de recursos, pero de forma ordenada,

Palabras clave:

Deterioro Ambiental, Degradación de los suelos, minería, optimización.

Abstract

The debate on an optimization for the extraction and artisanal exploitation of natural resources in the country makes it possible to put in context a latent reality that is experienced on a day-to-day basis and that generates controversy in the application of the laws, which generates an exacerbated controversy in favor and against it, considering in this regard the constitutional provisions in the Republic of Ecuador. In this work, a field and bibliographic investigation was carried out, the same that allowed to verify in the same place of the facts and to have photographic evidence of the negative effect that this extraction process has, the same that does not respect the most elementary criterion of protection of the environment, it was also based on primary and secondary information; During the field work, dialogues were established through interviews, meetings and on-site observation, among the main conclusions it is determined that if respect for nature and the extraction of resources is compatible, but in an orderly manner, maintaining the balance of the sector so that it is not quickly affected and a close relationship can be maintained between human well-being and care for nature.

Keywords:

Environmental Deterioration, Soil degradation, mu

Introducción

En la actualidad, a nivel mundial, se evidencian una serie de problemas ambientales que están azotando a todos los países y a la región, especialmente los que tienen que ver con la minería industrial básica, que es una actividad dedicada a la extracción y explotación de recursos para suministro de material

pétreo. Estos materiales pétreos son rocas que se encuentran en la naturaleza, y se extraen de las canteras, tolerando transformaciones al ser disgregadas con explosivos; lo que genera el deterioro de la naturaleza, del hábitat, del entorno del sector motivo de estudio y que repercute en las zonas aledañas a las poblaciones; pero, que satisfacen las exigencias constructivas, sociales y de progreso en la construcción.

Esta investigación es referente a la extracción y explotación artesanal de material rocoso que se extrae de la cantera La Carmela, comuna El Tambo, los impactos ambientales, de salud, generados para los habitantes de esta comuna, las preguntas que ellos generan ante el desconocimiento técnico-ambiental de esta práctica, ¿Qué pasa con el medio ambiente y las personas afectadas?, que teniendo una legislación minera no son mitigados sus efectos por las autoridades ambientales.

Es de destacar que, como objetivo general, se establece: Desarrollar una propuesta de optimización para la extracción y explotación artesanal de material pétreo en la cantera La Carmela, comuna El Tambo, Cantón Santa Elena; entre los objetivos específicos a: Establecer un análisis de la situación que se genera en la cantera la Carmela, en relación a la extracción y explotación de materiales. Realizar una matriz de impactos ambientales en la situación actual de la cantera La Carmela. Plantear los procedimientos de explotación y extracción de los materiales de construcción de la cantera La Carmela 1, comuna El Tambo, cantón Santa Elena, reduciendo los impactos al ambiente. Proponer la aplicación de la regulación de extracción y explotación de la cantera la Carmela1.

Al respecto, Ortiz, J. (2017), expresa: “el realizar una evaluación ambiental sobre las actividades de explotación y extracción de un sector, busca una actividad minera sostenible y sustentable en el área de influencia, usando técnicas minero-ambientales para no deteriorar más el entorno natural”. (p. 77)

Por lo que, ubicar un determinado sitio para ser usado como mina, debe establecer una serie de requisitos que contempla: dimensiones, objetivos, metas a cumplir, además la forma de extraer sus productos, la explotación, cálculo de

la producción, normativas legales ambientales a cumplir, equipos a utilizar, secuencia de extracción y de otras actividades que deben ser analizadas para no caer en infracciones de contaminación del ambiente.

Esta actividad es ejecutada desde muchos años atrás por empresas que alquilaban el terreno al municipio les daban un permiso de uso de suelo, y procedían a su extracción y explotación, de forma antitécnica, cuando la comuna obtiene sus tierras legalizadas a través del ministerio de la ley toman posesión de sus dominios ancestrales, pero por ser recursos naturales también son del estado, Gobierno Autónomo Descentralizado (GADS municipales) y Ministerio de Obras Públicas, (MOP), limitando sus derechos. ¿Qué ha hecho el gobierno para solucionar estos problemas?

La FAO (2018); observa que después de nuevas mediciones la región del medio oeste y norte de África, América Latina y el Caribe (ALC), regiones que cuentan con un 17% de riqueza en capital natural (tierra, bosque) y recursos no renovables (petróleo, gas y minerales), aunque la región representa el 16% de la masa continental, albergan el 40% de la biodiversidad biológica mundial. Para el 2020 la meta Aichi 11 estima, que el 17% de las zonas terrestres deben estar conservadas, constituyéndose en uno de los mejores aportes a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En cada uno de los países se toman medidas correctivas de carácter legal, las cuales están direccionadas a regular la actividad de la cata, a fin de que cumplan con las normativas de extracción y explotación del material de construcción, las cuales no se cumplen por los gobiernos de turno; que depende de su intensidad las variaciones ambientales en la morfología del yacimiento y las características del entorno.

A nivel mundial, los estados otorgan concesiones mineras a empresas y compañías privadas, las cuales generan una minería informal a pequeña o gran escala, donde se incumplen las normas legales sobre protección del medio ambiente, con el aval de los mismos gobiernos seccionales, incumpliendo las leyes, lo que genera problemas de salud en la población circundante.

Los organismos de control en esta área y que regulan la actividad minera en la provincia de Santa Elena, no llevan un registro estadístico en relación a la cantidad de personas que laboran en este sector, por lo que se tiene un estimativo de 209 “mineros” y 20 minas legalmente reconocidas (GADPSE, 2015), distribuidos en distintos sectores de la provincia.

Durante los últimos cinco años, las distintas peticiones que se realizan en las oficinas del GAD de Santa Elena, La Libertad y de Salinas, hacen que estas se encuentren en estudio, debido a que hay comunidades que prestan sus nombres a fin de favorecer a determinadas empresas, y de esta manera evadir los impuestos y de tributos a que están obligados a pagar. Esto genera malestar, debido a que las empresas quieren explotar sectores protegidos y que las comunidades no permiten, lo que en cierto modo se vuelve trámites engorrosos y de difícil solución en los GAD Municipales, y más aún de las entidades estatales adscritas al Medio Ambiente, por la serie de requisitos legales que se deben cumplir a fin de poder otorgarles el permiso respectivo y el área correspondiente, con la finalidad de no contaminar el medio ambiente. Cornejo, M. (2006).

En relación a la Justificación se este trabajo investigativo, se menciona:

La actividad minera desarrollada en la provincia de Santa Elena, carece de vacíos legales, de las cuales se aprovechan los grandes empresarios, los mismos que utilizan a los pequeños artesanos para extraer los materiales que necesitan, dejando con el problema de tipo legal a ellos, salvaguardando su integridad a costa de perjudicar a terceros.

La actividad minera en la cantera La Carmela 1, genera empleo de manera informal a un grupo de personas, quienes se dedican a esta actividad muy importante de la zona, proporcionando recursos económicos para el sustento diario, a pesar de que causa impactos negativos e ilegales; porque es un encadenamiento donde intervienen los dirigentes comunales, los cuales cobran un valor por concepto de extracción de los materiales.

En Ecuador, el proceso de explotación de materiales de construcción se da en todos los ámbitos de la geografía nacional, tanto de manera tecnificada, por empresas legalmente constituidas que aplican todas las normativas legales tanto nacionales como extranjeras; y de aquellas, que lo hacen de forma artesanal, las mismas que en su mayoría incumplen los preceptos legales de protección del medio ambiente que rigen el país, pero que en el contexto socioeconómico se convierten en un pilar de desarrollo y bienestar económico de un grupo social que busca salir adelante con su familia, sin importarles las sanciones a las que se haya expuesto al realizar esta actividad.

Esta situación establece que, si se diera el asesoramiento de regulación técnico - legal, permitirá que un gran índice poblacional sea considerado dentro del conglomerado activo y con empleo fijo, explotación sostenible y sustentable, respetando el ecosistema, lo que permitirá satisfacer las demandas de la sociedad en relación de dependencia en la producción de materiales de construcción a precios razonables como: el cascajo, la piedras; además permitirá un ordenamiento y regulación de extracción y explotación técnico no solo a los moradores de esta comuna, sino también aportaría como modelo para las otras comunidades asentadas en la provincia de Santa Elena, dedicadas a esta actividad.

Con estos antecedentes, este trabajo investigativo se establecerá un diseño adecuado para la explotación de la cantera, dando énfasis a la optimización en la extracción y explotación artesanal de la productividad, satisfaciendo las necesidades del mercado, en el presente caso, el material adecuado para la construcción de carreteras, las cuales servirán como medio de comunicación entre las poblaciones peninsulares y así evitar el aislamiento en época de estación lluviosa, pero estas deben estar bajo un control de calidad y controlando los impactos ambientales que se generan al desarrollar esta actividad, respetando las leyes ambientales que regularicen las medidas ambientales de protección, para flora, fauna, hábitat y medio ambiente, armonizando los derechos al buen vivir a través de una explotación sostenible y sustentable de

estos recursos naturales, mitigando la contaminación ambiental con la reforestación de especies nativas del lugar.

Metodología

En el contexto de la metodología empleada en este trabajo investigativo, se menciona lo expresado por Fernández y Baptista (2014), “La metodología de la investigación provee al investigador de una serie de conceptos, principios y leyes que le permite realizar un estudio verdaderamente científico. Su objeto de estudio, es el proceso de investigación el cual consta de una serie de pasos lógicamente estructurados y realizados entre sí”. (p. 44). Esto permite establecer como se desarrolló la investigación, cuáles fueron los pasos seguidos para la recopilación de datos, que instrumentos se aplicaron, cuáles fueron los principales resultados obtenidos, tomando como referencia los derechos humanos basado en principios como la participación, la transparencia (acceso a la información), la no discriminación, la indivisibilidad de los derechos humanos y la rendición de cuentas respecto a la responsabilidad de los actores involucrados, sean autoridades locales como seccionales y de la Comuna motivo de estudio, en relación al respeto y la protección del medio ambiente.

Este trabajo se basó en información primaria y secundaria; durante el trabajo de campo, se entablaron diálogos mediante entrevistas, reuniones y la observación in situ, hizo un acercamiento a personas y colectivos de la comuna el Tambo, quienes cuestionan la minería que se lleva a cabo y que tienen el visto bueno de las autoridades locales y seccionales.

Dentro del aspecto metodológico a realizarse para fortalecer la investigación, en primer lugar, se solicitó permiso a los directivos de la comuna para realizar visitas a la cantera La Carmela 1 y poder recopilar la información, se aplicó un cuestionario de preguntas a los responsables del manejo de la cantera y se organizó la información para el análisis respectivo.

Para lograr el primer objetivo específico, se visitó el lugar de estudio donde se constató y evidenció las afectaciones ambientales causada por la explotación de la cantera “La Carmela 1”, donde la afectación involucra el lecho del río circundante, la vegetación del sector que ya es casi nula y el detrimento de los cerros del sector.

De acuerdo a la recopilación de la información, se establece la asignación de valores al pasivo ambiental que se analizó, lo cual posibilita un estimado cuantitativo y cualitativo de los diversos elementos encontrados, identificando que clase de impacto ocasiona sobre el factor ambiental.

Con estos antecedentes se hace necesario establecer un índice único denominado importancia del pasivo ambiental (IM). La ecuación que se describe la relación entre los componentes del indicador IM. (Dolcemascolo, 2016)

$$IM = NA (3 MG + 2 EX + DR + PE + RC + RV + PO + TD + TI)$$

Donde:

- **NA:** naturaleza del impacto, si este es beneficioso (+) o dañino (-).
- **MG:** magnitud. Cuantifica el grado de incidencia. Su rango comprende valores entre 1 (afectación mínima) y 8 (afectación máxima).
- **EX:** extensión. Calcula el área de influencia teórica del impacto respecto al medio circundante al emprendimiento. Admite valores entre 1 (efecto localizado) y 8 (efecto generalizado en todo el entorno).
- **DR:** duración. Pondera la persistencia del efecto desde su aparición y el momento en el cual el factor afectado retornaría a las condiciones originarias previas a la acción. El rango de valoración del impacto puede ser fugaz (valor 1 = duración del impacto < 1 año) a permanente (valor 12 = > 10 años).
- **PE:** periodicidad. Establece la regularidad de manifestación del efecto. Puede ser irregular valor = 1 (forma impredecible) hasta continua, valor = 12 (constante a través del tiempo).
- **RC:** recuperabilidad. Se refiere a la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales, por medio de la intervención humana. En función de cuando es

posible realizar las actividades de recuperación del impacto se establece el rango de valoración que oscila entre 1 (cuando es posible realizarlo en la fase del proyecto) y 12 (cuando estas tareas no son posibles).

- **RV:** reversibilidad. Indica la posibilidad de que el factor afectado pueda regresar a las condiciones iniciales por medios naturales. Su clasificación se asigna en función del tiempo que demande este proceso; puede ser a corto plazo (valor 1 = <1 año) o irreversible (imposibilidad de retomar por medios naturales a las condiciones naturales, o hacerlo en un periodo mayor de 10 años).
- **PO:** probabilidad de ocurrencia. Describe el tiempo que acontece entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el medio. En este caso la valoración va desde 1 (cuando el efecto demora más de 5 años en manifestarse) hasta 4 (cuando sucede en el término de 1 año). En caso que suceda algún evento crítico en el momento del impacto se añaden 4 unidades.
- **TD:** tendencia. Se refiere al aumento paulatino de la manifestación del efecto cuando la acción que lo genera persiste de forma extendida o reiterada. Se le asigna un valor = 1 cuando el impacto es concreto y no induce nuevos efectos; o bien un valor = 2 cuando el efecto puede prolongarse en el tiempo y aumentar paulatinamente su peligro.
- **TI:** tipo. Establece la relación causa/efecto. Se interpreta como la forma de manifestación del efecto sobre un factor como consecuencia de una acción. Adquiere el valor = 1 cuando la manifestación es indirecta en relación a la acción; o bien, valor = 2 cuando el efecto repercute inmediatamente en algún componente ambiental.

Una mejor explicación de cada una de las valoraciones que intervienen se la puede encontrar en el trabajo de García, García y Agudelo. (2014).

Una vez obtenido el IM (ecuación 1), la importancia de un impacto, ya sea de naturaleza negativa o positiva, se determina teniendo en cuenta los criterios de calificación que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1:

Valores para clasificación de impactos (negativos/positivos)

Impactos Irrelevantes	Impactos con valores de importancia (-25) (< 25)
Impactos Moderados	Impactos con valores de importancia entre - 25 y - 50
Impactos Severos	Impactos con valores de importancia - 50 y - 75
Impactos Críticos	(-Impactos con valores de importancia mayores a -75 (> -75)

Nota. Tomado y Adaptado de Marchevsky, Giubergia, Ponce, (2017)

Se hace necesario realizar un análisis de los impactos ambientales que se generan en el desarrollo de la extracción y explotación de la cantera La Carmela 1, la misma que produce materiales de construcción, pero que altera y modifica las propiedades del suelo, contamina la atmosfera, destruye la flora y la fauna con la perdida de la biodiversidad del sector y de zonas aledañas dedicadas a la agricultura de productos de ciclo corto.

Tabla 2:

Matriz de calificación cuantitativa de pasivos ambientales de la Cantera La Carmela 1

Componente ambiental	Elemento ambiental	Etapa Criterios Factor ambiental	Cantera La Carmela 1											IM	Clasificación
			Explotación												
			N	M	E	D	R	R	P	T	T	P			
A	G	X	R	V	C	E	D	I	O						
Atmosférico	Aire	Afectación por emisión de material particulado	(-)	1	1	1	1	9	1	1	1	1	-20	Irrelevantes	
		Afectación por emisión de gases de combustión.	(-)	1	1	1	1	9	1	1	1	1	-20	Irrelevantes	
		Afectación por la generación de ruido.	(-)	1	1	1	1	9	1	1	1	1	-20	Irrelevantes	
Físico	Suelo	Afectación por remoción de la capa orgánica	(-)	5	5	12	12	9	1	2	2	2	-68	Severos	
		Afectación por procesos erosivos	(-)	7	5	11	11	9	2	2	2	2	-70	Severos	
		Afectación por el cambio de drenaje superficial	(-)	1	2	2	2	9	1	1	1	1	-24	Irrelevantes	
		Afectación por movimiento en masa	(-)	4	4	11	9	9	4	2	2	2	-59	Severos	
		Afectación por la generación de residuos.	(-)	4	4	2	8	9	2	2	2	2	-47	Moderados	

Agua	Variación de la dinámica fluvial	(-)	2	2	4	4	11	1 2	2	2	4	- 49	Moderados
	Variación en las características fisicoquímicas (calidad) o sedimentación	(-)	2	2	2	4	11	4	4	2	2	- 39	Moderados
Paisaje	Variación de las geoformas iniciales	(-)	10	1 0	10	11	12	2	2	2	4	- 93	Crítico
	Cambio en la percepción paisajística por la presencia de elementos extraños	(-)	10	1 0	10	11	12	2	2	2	2	- 91	Crítico
Biótico	Presencia de especies invasoras	(-)	2	2	2	2	8	8	2	2	4	- 38	Moderados
	Disminución o muerte de individuos	(-)	2	2	2	9	8	2	2	2	4	- 39	Moderados
	Remoción de la cobertura vegetal	(-)	4	4	8	8	8	8	2	2	4	- 60	Severos
Fauna	Migración de especies	(-)	4	4	4	2	8	4	2	2	4	- 46	Moderados
	Disminución o muerte de individuos	(-)	2	2	2	2	8	2	2	2	4	- 32	Moderados
Socioeconómico	Generación de empleo	(+)	2	2	12	12	8	2	2	2	4	+ 58	Severos
	Aumento del ingreso familiar	(+)	10	1 0	10	12	8	4	2	2	4	+ 92	Crítico
	Mejoramiento de la calidad de vida	(+)	12	1 2	12	8	8	2	2	2	4	+ 98	Crítico
	Afectación de las vías públicas	(-)	2	2	2	2	8	2	2	2	4	- 32	Moderados
	Generación de expectativas	(+)	4	2	2	2	8	2	2	2	2	+ 36	Moderados

Nota. Tomado y Adaptado de Marchevsky, Giubergia, Ponce, (2017)

Analisis de la Matriz de calificación cuantitativa de pasivos ambientales de la Cantera La Carmela 1 (Tabla 2)

Atmosférico

Se establece de acuerdo a los resultados obtenidos que el componente atmosférico tuvo - 20, por lo que es irrelevante. Este factor del pasivo ambiental se debe al tamaño de la Cantera, pues se extrae de forma artesanal los materiales de esta cantera, lo que ocasiona que las partículas que se expanden en el ambiente sean escasas, debido a que solo una maquinaria extrae los

materiales y estos son cargadas en los diferentes vehículos que se utilizan para llevar al sitio donde se requiere este material.

De igual forma, los vehículos que se utilizan para el transporte de material no son sometidos a mantenimiento continuo y estos a más de ir derramando materiales de la cantera emiten gases de combustión dentro de las ciudades, lo que genera contaminación (Romero D., 2016)

El ruido es otro de los componentes que afecta de manera directa a los operarios y choferes de los vehículos que se dedican a transportar los materiales que se extraen de la Cantera La Carmela 1, no así a los moradores de las Comunidades cercanas a la zona de trabajo.

Físico

La industria minera produce impactos negativos en la calidad de los suelos cuando estos son explotados anti técnicamente y sin ningún control, (Ballesteros, 2014).

En el análisis de este elemento, se establece una afectación importante severa por remoción de la capa orgánica (-68), de igual forma en la afectación por procesos erosivos (-70) y por afectación de movimientos en masa (-59)

La degradación del suelo puede causar la reducción de la función ecológica, debido a la alteración de ciertas características como el bajo contenido de materia orgánica, compactación, insuficiente profundidad, disminución de la resistencia a la erosión, (Chaudhuri, 2015).

Se hace evidente que la erosión del suelo es notoria en la Cantera La Carmela 1, por lo que se requiere implementar medidas para mitigar y restaurar este componente físico, por lo que la optimización es una de las medidas que deben ser implementadas, lógicamente acompañadas de otras para que el trabajo que se realice sea tecnificado y así minimizar los daños que se causen al ecosistema.

El cauce del río sufre alteraciones moderadas cuando se realizan trabajos de extracción de materiales en la cantera, por lo que se hace evidente que, ante

posibles precipitaciones fluviales, este cauce tendrá o hará un nuevo recorrido, lo que evidencia riesgos para las poblaciones aledañas.

Sobre el paisaje de la zona, esta produce un efecto crítico (-91) y (-93), por lo que las acciones a ser tomadas en consideración van desde diseñar áreas o sectores para reforestación de la zona, lo que ayudará a mejorar el hábitat de las especies del sector.

El análisis de los trabajos es similar a las que se describen para explotaciones a cielo abierto; donde las alteraciones notables son aquellas producidas por los cambios en la fisonomía de la zona, generados por los huecos propios de la explotación y extracción de materiales. (IGME, 1999)

Biótico

En relación al elemento flora y fauna, presentan afectaciones moderadas, pero se hace imprescindible realizar acciones que permitan recuperar este sector en beneficio de reestablecer el ecosistema del sector.

Socioeconómico

Antiguamente los pobladores de la comuna se dedicaban a la agricultura y ganadería, pero debido a los cambios climáticos, a la deforestación, al fenómeno del Niño, ahora es un lugar con clima seco desértico. (Malavé, 2015). El Tambo tiene una orografía irregular entre los 10 y 70 msnm; su clima inestable hace de la una zona agrícola de ciclo corto en determinados meses del año. Sus principales ríos son el Salado al norte, el Tambo al centro y la Tortuga al sur, con afluentes de bajo caudal, y quebradas que en épocas de fuerte invierno causan daños negativos a la comunidad; además posee un humedal Velasco Ibarra. (GAD Municipio del canton Santa Eena, 2014)

La Cantera La Carmela 1, se halla dentro de la jurisdicción de la provincia de Santa Elena, Cantón Santa Elena, parroquia San José de Ancón, Comuna El Tambo, con una extensión territorial de 2287 Has. (GAD Municipio del canton Santa Eena, 2014), tiene una población que fluctúa los 2000 habitantes, sus pobladores se dedican a la ebanistería de muebles, artesanías de madera

tallada, a la construcción y al sembrío de ciclo corto por medio (GAD Municipio del canton Santa Eena, 2014). Es de anotar que muchos de los habitantes viven de la actividad minera. De este modo, el impacto generado en el progreso socioeconómico de sus habitantes resulta positivo como crítico para este lugar.

Esto ayudó a desarrollar el segundo objetivo que es la elaboración de una matriz de impacto ambiental y determinar los daños causados por la extracción y explotación; asimismo para el tercer objetivo se hará una revisión documental para verificar la situación actual y poder plantear los procedimientos de extracción y explotación de los agregados para poder reducir los impactos.

Tabla 3

Matriz de impacto ambiental generado por la explotación en la cantera “La Carmela 1”

Componente	Indicador	Elemento	Criterio de evaluación	Actividades de la Cantera La Carmela 1			Tipo de medida
				Movilización de maquinaria	Arranque y cargue de material	Acopio de material	
Físico	Tierra	Suelo	Evidencia de suelos aprovechables para la agricultura	(-) L, B, T	-	(-) L, B, T	Corregible
		Geoformas	Cambios en la forma de relieve del sector	(-) L, B, T	(-) L, B, T	(-) L, B, T	Mitigable
	Agua	Dinámica fluvial	Cambios en el cauce	(-) L, B, T	(-) L, M, T	(-) L, B, T	Preventivo
		Inestabilidad de orillas y taludes	Inducción de procesos erosivos del entorno	(-) L, B, T	(-) L, A, T	(-) L, B, T	Preventivo
		Cambios en el paisaje	Alteraciones del paisaje	(-) L, B, T	(-) L, A, T	(-) L, B, T	Preventivo
	Aire	Calidad	Cambios en condiciones físicas por aporte de sedimentos y en las condiciones químicas por aporte de grasas y combustibles	(-) L, M, T	(-) L, A, T	(-) L, M, T	Mitigable
Generación de ruido y emanación de partículas			(-) L, A, T	(-) L, M, T	(-) L, M, T	Mitigable	
Biológico	Vegetación	Cobertura	Alteración de la vegetación por actividades de	(-) L, B, T	(-) L, B, T	(-) L, B, T	Corregible

			extracción de materiales de la cantera.				
	Animales terrestres	Aves, reptiles, mamíferos	Desplazamiento temporal o permanente	(-) L, M, T	(-) L, M, T	(-) L, M, T	Mitigable
	Vida acuática	Bentos	Alteración de sustratos por contaminación o Remoción del lecho del río.	(-) L, B, T	(-) L, A, T	(-) L, B, T	Corregible
Socioeconómico	Actores	Población rural	Generación de molestias o conflictos de intereses.	(-) L, M, T	(-) L, A, T	(-) L, A, T	Mitigable
			Mejoramiento de las condiciones de vida	(+) L, M, T	(+) L, M, T	(+) L, M, T	Mantener
		Fuerza laboral	Generación de ocupación de mano de obra	(+) L, M, T	(+) L, M, T	(+) L, M, T	Mantener
	Espacios	Infraestructura	Acceso, red vial	(+) L, M, T			Mantener
	Políticas	Dimensión ecológica	Educación ambiental de los actores del proceso y de la comunidad	(+) L, M, T	(+) L, M, T	(+) L, M, T	Mantener

CARÁCTER	EXTENSIÓN	INTENSIDAD	DURACIÓN
Positivo (+)	Local = L	Alta = A	Temporal = T
Negativo (-)	Regional = R	Media = M	Permanente = P
		Baja = B	

Nota: Adaptación del Análisis del impacto ambiental generado por la explotación de material de arrastre en el río Guatiquia en el Municipio de Villavicencio.

Al realizar el análisis del impacto ambiental (Tabla 3) que se visualiza en la Matriz sobre la explotación de material pétreo en la cantera “La Carmela 1”, donde se estableció que las actividades relacionadas con el arranque de material, cargue y transporte de material, que la evaluación de los impactos en cada actividad afecta de manera considerable al entorno, lo que demuestra que se debe realizar un control y seguimiento de estos procesos y así minimizar el deterioro de la naturaleza.

Se evidenció que las actividades que se realizan en la Cantera Carmela 1, presentan impactos negativos en un 84%, y los positivos oscilan en un 16%. Los impactos negativos influyen con una intensidad baja del 61% en relación al

		extracción de materiales de la cantera.					
	Animales terrestres	Aves, reptiles, mamíferos	Desplazamiento temporal o permanente	(-) L, M, T	(-) L, M, T	(-) L, M, T	Mitigable
	Vida acuática	Bentos	Alteración de sustratos por contaminación o Remoción del lecho del río.	(-) L, B, T	(-) L, A, T	(-) L, B, T	Corregible
Socioeconómico	Actores	Población rural	Generación de molestias o conflictos de intereses.	(-) L, M, T	(-) L, A, T	(-) L, A, T	Mitigable
			Mejoramiento de las condiciones de vida	(+) L, M, T	(+) L, M, T	(+) L, M, T	Mantener
		Fuerza laboral	Generación de ocupación de mano de obra	(+) L, M, T	(+) L, M, T	(+) L, M, T	Mantener
	Espacios	Infraestructura	Acceso, red vial	(+) L, M, T			Mantener
	Políticas	Dimensión ecológica	Educación ambiental de los actores del proceso y de la comunidad	(+) L, M, T	(+) L, M, T	(+) L, M, T	Mantener

CARÁCTER	EXTENSIÓN	INTENSIDAD	DURACIÓN
Positivo (+)	Local = L	Alta = A	Temporal = T
Negativo (-)	Regional = R	Media = M	Permanente = P
		Baja = B	

Nota: Adaptación del Análisis del impacto ambiental generado por la explotación de material de arrastre en el río Guatiquia en el Municipio de Villavicencio.

Al realizar el análisis del impacto ambiental (Tabla 3) que se visualiza en la Matriz sobre la explotación de material pétreo en la cantera “La Carmela 1”, donde se estableció que las actividades relacionadas con el arranque de material, cargue y transporte de material, que la evaluación de los impactos en cada actividad afecta de manera considerable al entorno, lo que demuestra que se debe realizar un control y seguimiento de estos procesos y así minimizar el deterioro de la naturaleza.

Se evidenció que las actividades que se realizan en la Cantera Carmela 1, presentan impactos negativos en un 84%, y los positivos oscilan en un 16%. Los impactos negativos influyen con una intensidad baja del 61% en relación al

desarrollo de las actividades que se realizan en la Cantera, de referencia local y de duración temporal.

Otro de los aspectos relacionados con los impactos de intensidad media y alta es aquellos provocados por el arranque y transporte de los materiales desde la cantera hasta el sitio donde se realice algún proyecto que requiera este tipo de materiales, lo que provoca la alteración del hábitat, conflictos de intereses, inducción de procesos erosivos, alteración del paisaje, cambios en condiciones físicas por aporte de sedimentos y en las condiciones químicas por aporte de grasas y combustibles.

En la Matriz de Impactos Ambientales, se establecen medidas encaminadas a mitigar los impactos y efectos negativos que se ocasionan, por lo que para cada impacto se presentan alternativas de como minimizar o contrarrestar esta situación, pero en honor a la verdad, estos quedan enfrascados en simples enunciados que no se llegan a cumplir porque la implementación de estas medidas requiere una inversión grande y no se tiene el factor económico.

Por lo que se requiere una buena planificación minera y su respectivo cumplimiento a las medidas de manejo ambiental propuestas, porque sino se estaría violentando el derecho a la salud, a una vida plena y a otras leyes que protegen la preservación de las especies y de los bosques.

Resultados

Análisis de la Entrevista

Pregunta No 1

¿Existen medidas de bioseguridad y de protección por parte de la empresa minera para proteger a la población y a la naturaleza?

Las empresas mineras, al presentar su proyecto de optimización para la extracción y explotación artesanal de material pétreo, exponen el cumplimiento de estudios de seguridad, protección del medio ambiente, protección de la salud de los moradores que habitan en las cercanías del sitio del proyecto, los cuales

son avalados por el GAD Cantonal de Santa Elena. Pero solo hasta ahí nomás se llega, o sea todo queda en el papel, porque los mineros artesanales, tercerizan la extracción, se asocian con grandes empresas, causando un perjuicio muy grande a las entidades del estado por la no facturación de los productos que se extraen de la mina, provocando un mayor problema ambiental,

Pregunta No 2

¿Conoce usted sobre la situación actual en la que se encuentra la comuna El Tambo en relación a la explotación minera?

El entrevistado afirma conocer sobre la situación actual en la que se encuentra los moradores de la comuna El Tambo, en relación a la explotación minera; mismo que afirma que es una situación crítica, la misma que ha desencadenado problemas sociales, mismos que han influenciado de una u otra manera en cada una de las comunidades donde se están llevando a cabo actividades relacionadas a la minería; ya que se han desarrollado conflictos intrafamiliares debido a que miembros de la familia se encuentran a favor o en contra de la minería sin embargo cabe destacar que quienes se encuentran a favor de esta actividad es porque han sido influenciados por el dinero. El entrevistado destaca que la compra de conciencias por un empleo o por dar un monto X de dinero es evidente.

Además, la destrucción del lecho del río al entrar en contacto con productos químicos, tales como: aceite, gasolina, Diesel, ponen en riesgo los pozos de agua que se encuentran a determinada distancia del sector de excavación, los cuales son usados para regios de las plantaciones de ciclo corto que dispone la población de la comuna; sino se le da un tratamiento adecuado, en pocos años esa agua no servirá para el regio de plantas de ciclo corto.

Análisis de la Encuesta

Pregunta No. 1: *¿Cree usted que la naturaleza, ecosistema y biodiversidad se verían afectadas por la explotación minera?*

Al establecer el análisis de esta pregunta, se obtuvo los siguientes resultados (Tabla 4);

Tabla 4

La naturaleza, ecosistema y biodiversidad se verían afectadas por la explotación minera

Ítems	Alternativa	Frecuencia	Porcentaje
1	Si	237	86 %
	No	038	14 %
	Total	275	100 %

NOTA: Elaboración propia

La casi totalidad de las personas encuestadas afirmó estar de acuerdo en que la extracción minera provoca cambios en la naturaleza, ecosistema y biodiversidad, al generar alteraciones en su composición física, biológica y económica, además de confrontar a miembros de una misma familia, los cuales están de acuerdo y otros en contra de esta situación que se presenta en la comuna

Pregunta No. 2: *¿Ha sido usted objeto de consulta previa en relación a la explotación minera?*

Tabla 5

Le consultaron para obtener su permiso para otorgar la concesión minera en la comuna El Tambo

Ítems	Alternativa	Frecuencia	Porcentaje
1	Si	018	93 %
	No	257	07 %
	Total	275	100 %

NOTA: Elaboración propia

Es indudable que las autoridades de la comuna, tienen algo de culpabilidad en esta situación, porque no ponen a debate entre los miembros de la comunidad si pueden o no hacer algo que ponga en riesgo la salud de ellos, y más aún si concesionan a largo plazo terrenos comunales para fines de extracción y explotación de materiales, lo que en términos generales va a causar daño al medio ambiente y en la salud de la población, por lo que se requiere que todos expresen si están o no de acuerdo con lo actuado por los directivos.

Discusión

A través de los años, se busca establecer un equilibrio entre el cuidado de la naturaleza y el bienestar del ser humano, a criterio de Lecaro (2008), este persigue un logro deseable pero conseguible solo de forma aproximada. Es indudable de que en determinado momento se tenga que renunciar a la preservación y conservación de la naturaleza y que en este accionar se tenga que admitir que haya resultados adversos o negativos en la utilización de los recursos por parte del ser humano. Pero no está demás exigir que se respete los estudios técnicos presentados en los proyectos y que la normativa legal debe ser cumplida tal como lo expresan la Constitución del 2008 y sus reformas, La Ley de Minería, y otras instancias legales.

De igual forma, existe un escaso control del gobierno ante la problemática existente en todo el país, y solo aparecen en procesos electorarios como ofertas de campañas de que se va a proteger el derecho al agua, a una minería sustentable y sostenible, pero es evidente que el problema es latente, están ahí, la lucha es diaria y la contaminación no se puede tapar con un dedo.

Es necesario establecer que, en Intag, se da el mismo problema que en la Comuna El Tambo, es evidente la lucha que se da día a día en contra de la explotación minera ya que el GAD de Cotacachi junto con miembros de las comunidades se encuentran enfrentados, unos a favor y otros en contra, lo que evidencia de que existen intereses de por medio lo que impide llegar a acuerdos

entre las partes litigantes, a fin de limar asperezas y se pueda llegar a soluciones pacíficas y establecer códigos de convivencia, tal como lo estipulan las leyes de la República.

Si bien la Constitución protege y reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, sostenible (aspectos todos ellos propios del buen vivir, que incluye la preservación y conservación de la naturaleza, Art. 14), por otra parte, existen leyes que permiten a las personas recurrir a la explotación de los recursos naturales. Por lo que, se debe analizar estos cuerpos legales a fin de subsanar esta situación que se da y así establecer leyes que sean de fácil entendimiento para la ciudadanía.

Conclusiones

Es necesario puntualizar que la preservación, cuidado y protección de los recursos naturales es compatible con la extracción de los recursos naturales, pero de forma ordenada, manteniendo el respeto a la diversidad y con estudios técnicos que permitan tener conocimientos que tipo y grado de afectación van a provocar en una determinada área.

No solo se trata de satisfacer las necesidades materiales de una sociedad en constante crecimiento y evolución, sino que se trata de proteger los recursos naturales a fin de que las generaciones venideras disfruten del paisaje y de los recursos, procurando de alguna manera minimizar los daños que se provoque en el accionar del ser humano con la naturaleza.

Es indudable que las leyes están ahí, pero, pero lo importante es que aquella persona que le toque o tenga la oportunidad de ejercer un cargo lo cumpla a cabalidad y no sea un instrumento de “toma y dame” y que aquello no quede en un anhelo, una aspiración antes que una realidad de defender la naturaleza.

(Asamblea, 2008): Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso

equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural. (Art. 276, núm. 4).

Bibliografía

Asamblea, C. (2008). *Constitución del Ecuador*. Montecrsiti, Manabí.

Ballesteros, M. C. (2014). *Central role of bedding materials for gypsum-quarry restoration: An experimental planting of gypsophile species. Ecological Engineering*.

Chaudhuri, S. M.-Y. (2015). *Soil organic carbon molecular properties: effects of time since reclamation in a mine soil chronosequence. Land Degradation & Development*,.

Cornejo, M. (2006). *Polo de Promoción minero ambiental en el contexto de la agenda local 21 PSE- Ecuador*. RJ: CYTED.

Dolcemascolo, M. (2016). *Estudio de pasivos ambientales en la provincia de San Luis para la generación de hormigones*. Argentina.

FAO, O. d. (2018). *Informe de explotaciones mineras en Africa y América Latina*.

GAD Municipio del canton Santa Eena. (2014). *Plan Desarrollo y Ordenamiento Territorial cantón Santa Elena 2014-2019*. Santa Elena.

GADPSE. (2015). *Plan de desarrollo Provincial y Ordenamiento Territorial*. Santa Elena.

García, G. &. (2014). *Evaluación y diagnóstico de pasivos ambientales mineros en la Cantera Villa Gloria en la localidad de Ciudad Bolívar*,. Bogota, Colombia: DC, Tecnura.

IGME, I. T. (1999). *Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería*. . Madrid, España.

Lecaro, J. A. (2008). Las Éticas de la Tierra: Por qué estamos obligados a responder moralmente a la Tierra. *Bioética & Debate*, 15-18.

Malavé, A. (2015). *Diseño del sistema de alcantarillado sanitario pluvial y red domiciliaria de agua potable para la lotización El Tambo*. La Libertad: Tesis de grado.

Natalia Judith Marchevsky, A. A. (2017). Evaluación de impacto ambiental de la cantera “La Represa”, en la provincia de San Luis, Argentina. *Tecnura*, 38.

Ortíz, J. (2017). *Impactos ambientales por extracción de material de arrastre*. México, D.F.: Trillas.

Romero D., G. A. (2016). *Generación de mapas de ruido (industrial) desde sistemas de información geográfica. Un acercamiento desde la literatura*. Buenos Aires, Argentina: Tecnura.

Factibilidad de producción de Hidrógeno verde en el Ecuador

Feasibility of green Hydrogen production in Ecuador

**Luis Contreras-Vásquez¹, Luis Escobar-Luna², Rodrigo Acosta-Lozada³,
Santiago Medina-Robalino**

¹ Universidad Técnica de Ambato, Dirección de Investigación y Desarrollo, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato - Ecuador, lf.contreras@uta.edu.ec

² Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato - Ecuador, leescobar@uta.edu.ec

³ Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato - Ecuador, ri.acosta@uta.edu.ec

⁴ Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato - Ecuador, wsmedina@uta.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.31243/id.v16.2022.1805>

Resumen

Esta investigación se centra en el análisis de factibilidad de producción de hidrógeno verde mediante el proceso químico de electrólisis, utilizando para esta, electricidad de fuentes renovables de energía en el Ecuador. Se evaluaron los potenciales de generación eléctrica de 3 fuentes de energía renovable: solar fotovoltaica, eólica e hidroeléctrica, mediante información obtenida de los atlas solar y eólico del Ecuador, así como de evaluaciones de la energía proveniente de las centrales hidroeléctricas. Con estos potenciales conocidos se realizó la estimación del potencial de generación de hidrógeno considerando un electrolizador tipo membrana de intercambio de protones PEM obteniendo una producción teórica total equivalente a 3.23×10^8 kg H₂/año. Finalmente, se examina los beneficios que supondría la implementación del hidrógeno como un vector energético en el cambio de la matriz energética, la economía y el medio ambiente del Ecuador, concluyendo que el Ecuador presenta un gran potencial para la inclusión de la tecnología del hidrógeno en varios sectores estratégicos.

Palabras clave:

Hidrógeno, Energías Renovables, Vector Energético, Electrólisis

Abstract

This research focuses on the feasibility analysis of green hydrogen production by electrolysis using electricity from renewable energy sources in Ecuador. The potential electrical generation of 3 renewable energy sources (solar photovoltaic, wind and hydroelectric) were evaluated, using information obtained from the solar and wind atlas of Ecuador, as well as evaluations of the available energy from hydroelectric plants. Consequently, the production potential of hydrogen from electrolysis was estimated, considering for the process a proton exchange membrane electrolyzer (PEM), obtaining a total theoretical production of hydrogen equivalent to 3.23×10^8 kg H₂/year. Finally, the benefits of the hydrogen implementation as an energy vector in changing the energy matrix, the economy and the environment of Ecuador were examined, concluding that Ecuador has great potential for the inclusion of hydrogen technology in several strategic sectors.

Keywords:

Hydrogen, Renewable Energies, Energy Vector, Electrolysis

Introducción

El crecimiento sostenido de la población mundial y la demanda energética que este supone, combinados con los problemas de contaminación ambiental generados por el uso desmesurado de los recursos energéticos; han llevado a gobiernos, centros de investigación, la academia y organizaciones tanto gubernamentales como del medio ambiente, a buscar soluciones prácticas y sostenibles en la generación energética a nivel mundial con la finalidad de suplir la demanda sin causar efectos adversos al medio ambiente. En este contexto, cada vez más, la búsqueda de fuentes renovables de energía ha ido en aumento (Inter-American Development Bank, 2021).

Entre las posibles alternativas, surge el hidrógeno (H_2) como un vector energético, que en la última década ha cobrado un gran interés a nivel global debido a sus excelentes propiedades energéticas, la posibilidad de obtenerlo mediante diversas fuentes y procesos, la fácil aplicación en un amplio rango de sectores productivos, su combinación con varias tecnologías (Nadaleti et al., 2021), además de que la combustión de este solamente produce vapor de agua. Sin embargo, para poder considerar al H_2 como un candidato para suplir la demanda energética, la producción de este deberá ser completamente verde es decir no deberá generar emisiones contaminantes en ninguna parte del proceso (Clerici & Furfari, 2021).

Uno de los grandes problemas para la incursión del hidrógeno en el mercado energético mundial es su producción, debido a que al ser un gas que no se encuentra de forma natural en nuestro planeta, este tiene que ser producido o descompuesto de moléculas químicas que contengan átomos de hidrógeno como los hidrocarburos C_xH_x , o el agua H_2O (Kovač et al., 2021). Esto conlleva a que la producción del hidrógeno se convierta en un proceso que genera contaminantes, ya que al descomponer los hidrocarburos se generan emisiones de carbono las cuales son las principales responsables de la contaminación ambiental, por lo que no es una opción viable (Filippov & Yaroslavtsev, 2021).

Por otro lado, se puede considerar la opción de descomponer la molécula del agua para obtener hidrógeno mediante la electrólisis de la misma. El proceso de electrólisis consiste en romper los vínculos entre los átomos de hidrógeno y oxígeno mediante la aplicación de electricidad (Kakoulaki et al., 2021). Este proceso de producción del hidrógeno se presenta como una alternativa viable para solucionar la problemática de las emisiones contaminantes, sin embargo, es necesario contar con un suministro eléctrico constante y renovable con la finalidad de poder producir hidrógeno verde (Kakoulaki et al., 2021). Esta energía podría obtenerse de fuentes renovables, no obstante, existen 2 grandes limitantes con estas: la intermitencia de su producción (al estar sujeta a disponibilidad de los recursos naturales) y la dificultad de almacenamiento de los excedentes de energía (producidos durante

períodos de menor demanda) (Estévez et al., 2021). Estas dificultades podrían ser suplidas por un mecanismo que permita tanto almacenar como transportar energía. Es por esto que, el hidrógeno sería un complemento excepcional para las energías renovables, ya que no solo permite almacenar y transportar energía de una manera eficiente, sino que también de una manera amigable con el medio ambiente (Egeland-Eriksen et al., 2021).

Entre las diferentes opciones renovables que se presentan tecnológicamente viables para la producción de hidrógeno mediante electrólisis de la molécula del agua tenemos: Los Sistemas de Energía Solar Hidrógeno donde el sol es la energía primaria para el proceso de electrólisis y el hidrógeno la energía secundaria para el uso final (Ares et al., 2019; Hosseini & Wahid, 2020). La energía eólica hidrógeno, que cumpliría con la misma función antes menciona siendo en este caso el viento la fuente primaria (Tian, 2021; Valverde Tapiador, 2021). Una de las opciones más viables económicamente hablando para la electrólisis, se puede considerar la energía del agua (hidroelectricidad) debido a su bajo coste; ya que no necesitaría de una infraestructura en particular, y en el caso de Latinoamérica, por su abundancia, ya que la mayoría de países cuentan con fuentes hidroeléctricas para el suministro energético (Amezcuza Medina, 2021; Bamisile et al., 2020; Jovan et al., 2021; Nadaleti et al., 2020).

En este contexto, países como USA, Canadá, Brasil, México, Chile y principalmente Ecuador poseen un gran potencial para poner en práctica soluciones innovadoras que permitan combinar la generación eléctrica mediante el uso de recursos renovables reduciendo así su dependencia en el uso de combustibles fósiles (Asteria, 2018). De esta manera, para la correcta implementación de un sistema basado en energías renovables para producir hidrógeno, lo más importante es conocer la cantidad de hidrógeno que se podría producir mediante estas de una manera sostenida y constante. Lo cual ha llevado a que científicos de varios lugares se interesen en investigaciones relacionadas con el potencial de producción el hidrógeno mediante fuentes renovables (Sadik-Zada, 2021).

Estados Unidos, uno de los países más desarrollados de América y del mundo contiene gran cantidad de investigaciones desarrolladas por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL) por sus siglas en inglés, de la producción de hidrógeno mediante energía solar, viento, biomasa e hidroeléctrica (NREL, 2022). En el caso de la energía solar para la producción de hidrógeno por electrólisis en los Estados Unidos el estudio se basó en la recolección de información geográfica de la insolación en ciertos puntos estratégicos, con una eficiencia de conversión del 10 %, de donde se pudo obtener una producción de hidrógeno equivalente a 8.7×10^9 ton/año (Connelly et al., 2020). En el caso de la energía eólica, se realizaron 2 estudios para cuantificar el potencial de producción de hidrógeno. El primer análisis reveló una producción total de 2.74×10^{11} ton de hidrógeno mapeando cada estado conforme a su potencial eólico (Melaina et al., 2013). El segundo estudio corrigió ciertos parámetros actualizando la información, obteniendo un total de producción de hidrógeno igual a 1.1×10^{12} ton/año (Connelly et al., 2020). Por último, el NREL estudió la producción de hidrógeno mediante fuentes de energía hidroeléctricas asumiendo que un 30% de la producción de estas sería utilizado para la generación de hidrógeno, obteniendo una producción de este de 1×10^6 ton (Milbrandt & Mann, 2009).

Otro país pionero en Latinoamérica en cuanto a estudios de producción de hidrógeno renovable es Argentina, donde se desarrollaron investigaciones con energía solar fotovoltaica PV, eólica y biomasa, utilizando la gasificación y electrólisis como procesos para la generación de hidrógeno. Los resultados de estos análisis utilizando sistemas de información geográfica GIS evidenciaron una producción aproximada de 1 billón de toneladas de hidrógeno al año utilizando estimaciones de energía eólica, solar y biomasa, obteniendo un costo aproximado de producción de 9.41 USD/Kg de hidrógeno (Sigal et al., 2017).

Brasil, uno de los países con mayor representación de energías renovables en Latinoamérica ha publicado varias investigaciones de producción de hidrógeno verde a través de electrólisis con fuentes de energía provenientes de centrales hidroeléctricas en combinación con energía solar y eólica alcanzando una

producción estimada de 3.22×10^6 ton de hidrógeno (Da Silva et al., 2005; Riveros-Godoy et al., 2013).

En Colombia a su vez la producción de hidrógeno electrolítico se ha analizado a través de estudios en centrales hidroeléctricas con la propuesta de suministrar electricidad y calor para suplir necesidades de poblaciones aledañas a la producción (Carvajal-Osorio et al., n.d.).

Así mismo estudios desarrollados en Paraguay en la central de Iguazú proponen un análisis termo-económico sobre la producción de hidrógeno hidroeléctrico (Nadaleti et al., 2021).

En Venezuela el potencial estimado de producción de hidrógeno se ha analizado en función de energía solar obteniendo un aproximado de 2.0×10^7 ton H₂/año, eólica con un equivalente de 3.3×10^5 ton H₂/año, mientras con mini-hidroeléctricas fue posible obtener 7.1×10^5 ton H₂/año (Posso & Zambrano, 2014).

Chile, referente Latinoamericano cuenta con estudios relacionados a la generación de hidrógeno verde con la finalidad de utilizar este como combustible para maquinaria minera, fundiciones de cobre y la fabricación de amoníaco (Fuñez & Reyes, 2019).

Otros países donde se han realizado investigaciones relacionadas a la producción de hidrógeno de fuentes renovables son Canadá, con un estudio de producción de hidrógeno mediante la planta hidroeléctrica Tayson de donde se obtuvo una producción de hidrógeno de 7 ton/día (Olateju & Kumar, 2016). En Suecia, utilizando recursos eólicos se calculó una producción aproximada de 2.56×10^9 ton H₂/año (Siyal et al., 2015). Hong Kong podría generar hidrógeno para cubrir un 40 % de la demanda de energía del sector de transporte mediante fuentes renovables como solar, eólica y biomasa proveniente del tratamiento de desechos sólidos municipales (Ni et al., 2006).

En el Ecuador, varios estudios se han llevado a cabo en cuanto a la producción de hidrógeno de fuentes hidroeléctricas, la mayoría de estudios se basa en esta tecnología y su aplicación en el sector del transporte, sin embargo existen algunos trabajos donde se estudia el potencial de producción de hidrógeno mediante

sistemas fotovoltaicos los cuales se basan en el análisis del Atlas Solar del Ecuador y demuestran que existe la oportunidad de implementar este sistema para la producción de hidrógeno verde (Posso et al., 2016; Posso Rivera & Sánchez Quezada, 2014).

Por tal motivo este estudio tiene como objetivo analizar las diferentes fuentes de energía renovable existentes en el Ecuador (solar, eólica, hidroeléctrica) y su factibilidad para producir hidrógeno verde, para este análisis se utilizará como referencia investigaciones previas, así como datos base geográficos y de producción energética. Con esta información podremos establecer un argumento científico para la introducción y/o combinación de la producción de energía con el hidrógeno como vector energético y establecer su potencial uso para el cambio de la matriz energética de Ecuador conforme a las regulaciones establecidas y aprobadas para cumplir con el tratado de París.

Reflexión

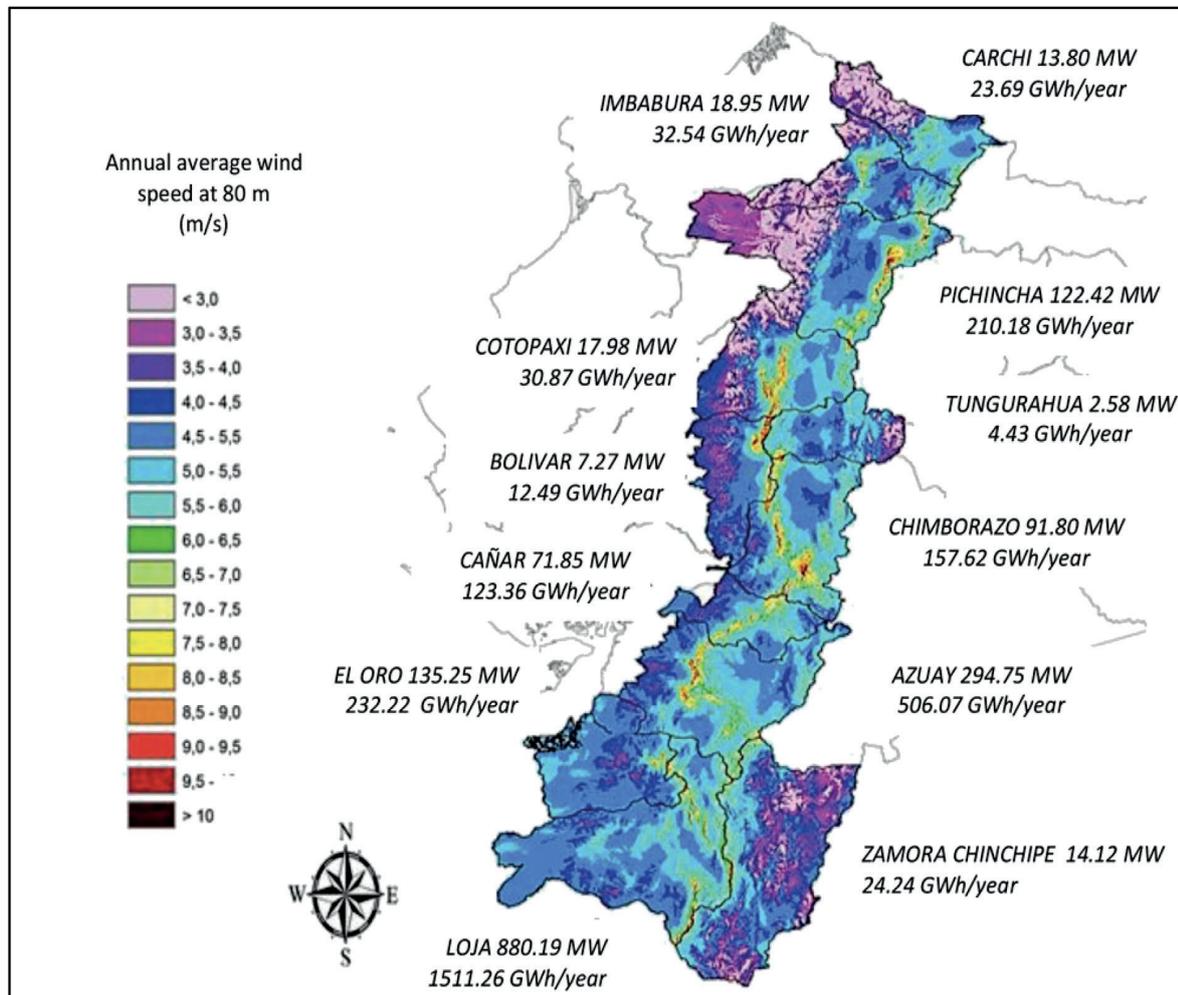
Para la estimación del potencial de producción del hidrógeno se debe considerar lo siguiente: Primero se debe calcular el potencial eléctrico disponible para la electrólisis, este dato proviene de la capacidad de generación de las fuentes de energía renovables. Consecuente, se debe calcular el potencial de hidrógeno que se puede obtener de cada proceso. En este contexto, a continuación describimos el análisis de la estimación del potencial de hidrógeno tomando en consideración los dos pasos antes mencionados.

En Ecuador para estimar el potencial de viento se toma como referencia el Atlas Eólico desarrollado en base a un sistema MesoMap que genera una serie de mapas de variación de velocidades de viento anuales con una resolución de 200 m como se presenta en Fig.1. De esta información se obtiene los valores teóricos de generación eléctrica por provincia, siendo Loja la provincia que presenta los más altos índices de generación, seguida por Azuay, El Oro y Pichincha con un total de

potencial de generación al año de 1511.26 GWh, 506.07 GWh, 232.22 GWh y 210.18 GWh respectivamente (MEER, 2016). En la provincia de Loja, se ha desarrollado desde el 2013 el proyecto de la Central Eólica Villonaco, la cual cuenta con 11 turbinas con la finalidad de aprovechar el potencial eólico de la provincia que representa un 52.4 % del potencial eólico aprovechable del país (CELEC, 2019).

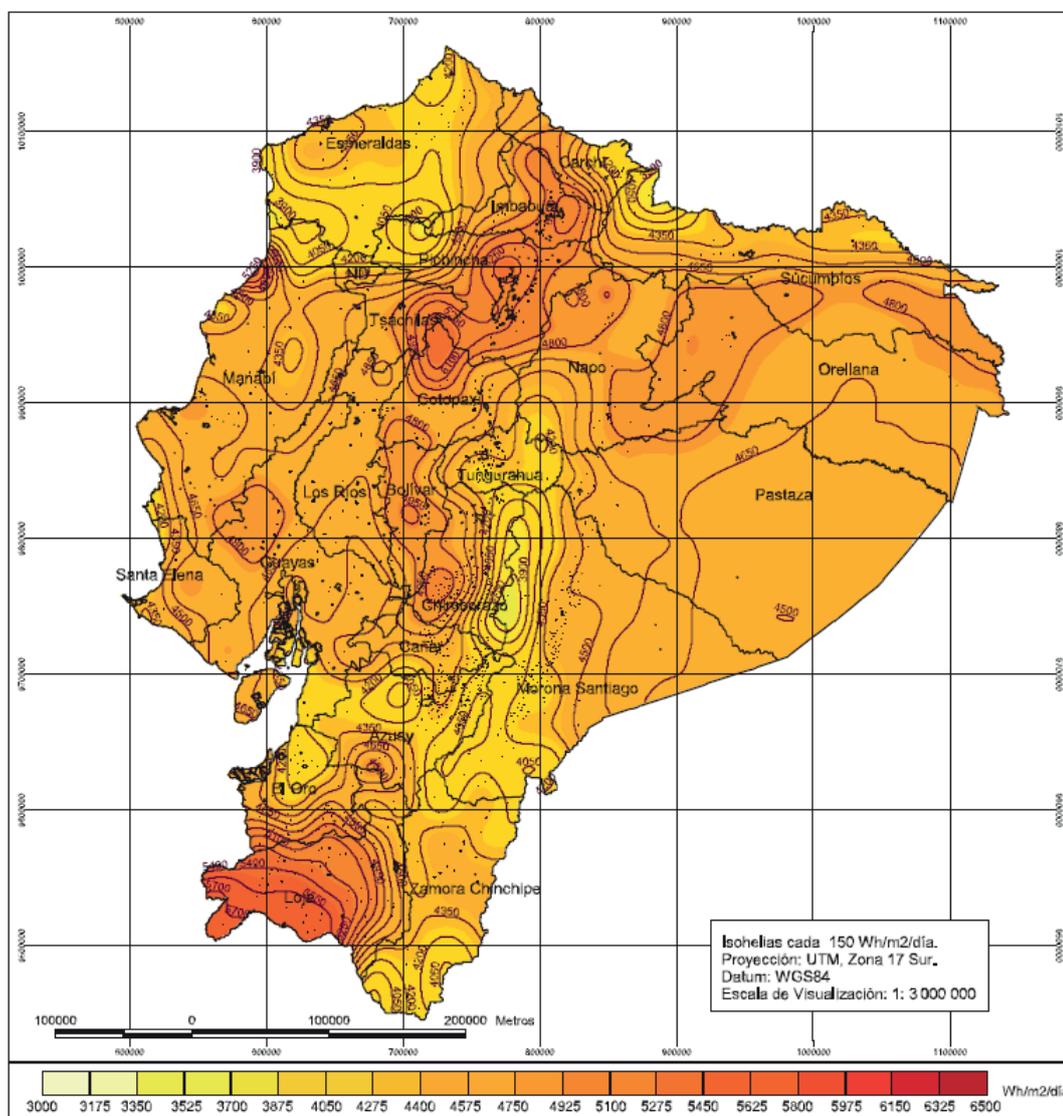
Para estimar el potencial solar en el Ecuador, se hace uso del Atlas Solar el cual tiene como base información del NREL sobre irradiación solar diaria directa, difusa y global. Los resultados son estadísticamente interpolados, generados para celdas de 1 Km² y expresados en un promedio mensual y anual como se puede observar en Fig. 2. De aquí, se obtienen resultados de la capacidad teórica de generación eléctrica por provincia donde provincias como Manabí, Sucumbíos, Orellana, Pastaza y Morona presentan un potencial teórico de generación eléctrica fotovoltaica mayor a los 1000 GWh/año (CONELEC & Energética, 2019).

Para el caso del potencial de generación hidroeléctrica, se presentan 2 posibles métodos de cálculo, el primero asumiendo que un porcentaje aleatoriamente escogido de la producción total de la central es considerado exclusivamente para la producción de hidrógeno. El segundo método está basado en la estimación del potencial energético de agua turbinable que es descartada de la planta hidroeléctrica y que potencialmente puede ser usada para la producción de hidrógeno, aumentando así el factor de eficiencia de la planta en general. Teóricamente, la capacidad hidroeléctrica del Ecuador es de 91 GWh provenientes de un total de 71 centrales hidroeléctricas en todo el Ecuador (MERNNR, 2021).



Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Atlas Eólico del Ecuador con fines de generación eléctrica (2013).

Figura 1. Atlas Eólico del Ecuador, potencial de generación eléctrica en provincias seleccionadas.



Fuente: Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica (2008).

Figura 2. Atlas Solar del Ecuador, insolación global promedio por provincias en el Ecuador.

Una vez conocido el potencial de generación eléctrica de cada uno de las diferentes fuentes renovables estudiadas, se procede con la segunda fase que es la estimación del potencial de hidrógeno que se podría obtener de la generación de las energías renovables a través de la electrólisis utilizando como referencia un electrolizador de membrana de intercambio de protones PEM (Proton Exchange

Membrane) con una eficiencia aproximada del 75 % basada en el poder calorífico superior del hidrógeno y un factor disponible de electrólisis del 95 % valores que se han usado como referencia para varios estudios en la literatura (Altayib & Dincer, 2022; Ma et al., 2020; Padilha et al., 2009). Con estos datos se calcula el potencial de hidrógeno utilizando la ecuación 1.

$$P_{H_2} = \frac{(E_d \times \eta_e \times F_{ae})}{PCS} \quad (1)$$

Donde E_d es el potencial de energía eléctrica disponible para el proceso de electrólisis calculado de las diferentes fuentes renovables (kWh/año), η_e representa el factor de eficiencia del electrolizador (75%), F_{ae} es el factor disponible de la electrólisis (adimensional) y PCS que representa al poder calorífico del hidrógeno (39.4 kWh/kg H_2).

Entonces, de la aplicación de esta fórmula para los resultados antes obtenidos se puede estimar la cantidad de hidrógeno tentativa. Para la energía eólica acorde con los potenciales de generación eléctrica más altos obtenidos (Loja, Azuay, El Oro, Pichincha) del Atlas Eólico se puede estimar una producción de hidrógeno equivalente a 4.45×10^7 kg H_2 /año, siendo Loja la provincia que mayor potencial presenta.

Para la energía solar, utilizando los valores del Atlas Solar de generación eléctrica en el Ecuador, podemos estimar utilizando la ecuación 1 de donde se observa que se podría producir un equivalente a 1.14×10^8 kg H_2 /año, evidenciando que las provincias de la Costa y el Oriente ecuatoriano poseen los potenciales más altos de generación solar fotovoltaica.

Por otro lado, para la generación hidroeléctrica, tomando en consideración los potenciales de electricidad provenientes de esta, se puede estimar que podríamos obtener una potencia de generación de hidrógeno al año equivalente a 1.67×10^8 kg H_2 /año.

Los resultados de este análisis presentan un panorama alentador para el Ecuador ya que demuestran la factibilidad de implementar la tecnología del hidrógeno utilizando recursos renovables existentes en el país, siendo la energía hidroeléctrica la que tendría mayor contribución, esto se presenta favorable para nuestro país por la gran apuesta hidroeléctrica que durante la última década se ha establecido, lo cual permitiría un gran potencial de generación de hidrógeno verde y su contribución a la diversificación de la matriz energética nacional así como al desarrollo sustentable de varios sectores incluyendo la industria, el transporte, y el usuario final. En el Ecuador, el potencial uso del hidrógeno podría tener un nicho importante de mercado en el sector del transporte (Castro Verdezoto et al., 2019; Posso et al., 2017, 2020), reemplazando los vehículos propulsados por combustibles fósiles con vehículos que utilicen celdas de combustible, esto no solamente reduciría considerablemente la importación de gasolina y diésel aportando a la economía nacional, sino que contribuiría con la reducción de emisiones contaminantes generadas por estos; ya que el producto de la combustión del hidrógeno en las celdas de combustible es solamente vapor de agua, de esta manera estaríamos dando cumplimiento al compromiso adquirido por el Ecuador de reducir las emisiones a la atmósfera, en el marco de la Convención de las Naciones Unidas para el Cambio Climático celebrada este 2021 en Glasgow, UK (Naciones Unidas, 2021). Sin embargo, para la implementación de la tecnología del hidrógeno a nivel nacional se requiere de un análisis técnico y económico más detallado, además de políticas públicas que impulsen el uso de las energías renovables y el hidrógeno a nivel nacional e internacional.

Conclusiones

Se analizó la factibilidad de generación de hidrógeno verde en el Ecuador mediante el proceso químico de la electrólisis, en el cual se obtiene el hidrógeno descomponiendo la molécula del agua mediante la aplicación de energía eléctrica para separar los átomos de hidrógeno y de oxígeno. La energía necesaria para la electrólisis, se consideró mediante el potencial de generación eléctrica de 3 tipos de tecnologías renovables existentes en el Ecuador: Solar fotovoltaica, eólica e hidroeléctrica, con un potencial total de generación de hidrógeno equivalente a 3.23×10^8 kg H₂/año, donde la mayor contribución se obtiene de las fuentes hidroeléctricas. Del análisis realizado se concluye que el hidrógeno como vector energético tiene un gran potencial de aplicación en el Ecuador y puede contribuir hacia el cambio en la matriz energética nacional. La inclusión del hidrógeno como una fuente de energía, permite disminuir el consumo de combustibles fósiles y a su vez la necesidad de importación de los mismos, lo cual conlleva beneficios no solamente ambientales; por la disminución de emisión de gases a la atmósfera, sino también económicos.

Se puede evidenciar que el Ecuador presenta grandes proyecciones para la producción de hidrógeno verde y su incorporación en el sistema energético. No obstante, se necesita llevar a cabo estudios que permitan determinar la viabilidad económica y técnica para el desarrollo de este sector energético. Además, es necesario contar con regulaciones y políticas públicas que incentiven el uso de nuevas tecnologías limpias y renovables.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dirección de Investigación y Desarrollo DIDE de la Universidad Técnica de Ambato por el financiamiento de esta investigación mediante el proyecto #PFICM23 “Análisis de la capacidad de generación de Hidrógeno como energía no contaminante mediante fuentes de energía renovables fotovoltaica y eólica”.

Referencias

Altayib, K., & Dincer, I. (2022). Development of an integrated hydropower system with hydrogen and methanol production. *Energy*, 240, 122780. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122780>

Amezcua Medina, J. A. (2021). *Modelado de un sistema de power-to-hidrógeno basado en energía hidroeléctrica*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/161134>

Ares, J. R., Leardini, F., Sánchez, C., Fernández, J. F., & Ferrer, I. J. (2019). *El hidrógeno como vector energético: Mucho hecho pero casi todo por hacer*. <https://repositorio.uam.es/handle/10486/688504>

Asteria, T. (2018). Powering The World With Hydrogen. *Konfrontasi: Jurnal Kultural, Ekonomi Dan Perubahan Sosial*, 5(2), 55–65. <https://doi.org/10.33258/KONFRONTASI2.V2I2.71>

Bamisile, O., Li, J., Huang, Q., Obiora, S., Ayambire, P., Zhang, Z., & Hu, W. (2020). Environmental impact of hydrogen production from Southwest China's hydro power water abandonment control. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(46), 25587–25598. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2020.06.289>

Carvajal-Osorio, H., Competitividad, J. B.-I. y, & 2010, undefined. (n.d.). Estudio sobre producción de H₂ con hidroelectricidad para una economía de hidrógeno en Colombia. *Redalyc.Org*. Retrieved January 14, 2022, from <https://www.redalyc.org/pdf/2913/291323517003.pdf>

Castro Verdezoto, P. L., Vidoza, J. A., & Gallo, W. L. R. (2019). Analysis and projection of energy consumption in Ecuador: Energy efficiency policies in the transportation sector. *Energy Policy*, 134, 110948. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2019.110948>

CELEC. (2019). *CENTRAL EÓLICA VILLONACO LA DE MAYOR PRODUCCIÓN POR TURBINA EN EL MUNDO*. <https://www.celec.gob.ec/gensur/index.php/84-central-eolica-villonaco-la-de-mayor-produccion-por-turbina-en-el-mundo>

Clerici, A., & Furfari, S. (2021). *Challenges for green hydrogen development*. 1–6. <https://doi.org/10.23919/AEIT53387.2021.9627053>

CONELEC, & Energética, C. para la I. (2019). *ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA Corporación para la Investigación Energética*.

Connelly, E., Penev, M., Milbrandt, A., Roberts, B., Melaina, M. W., & Gilroy, N. (2020). *Resource Assessment for Hydrogen Production*. <https://www.h2knowledgecentre.com/content/researchpaper1728>

Da Silva, E. P., Marin Neto, A. J., Ferreira, P. F. P., Camargo, J. C., Apolinário, F. R., & Pinto, C. S. (2005). Analysis of hydrogen production from combined photovoltaics, wind energy and secondary hydroelectricity supply in Brazil. *Solar Energy*, 78(5), 670–677. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2004.10.011>

Egeland-Eriksen, T., Hajizadeh, A., & Sartori, S. (2021). Hydrogen-based systems for integration of renewable energy in power systems: Achievements and perspectives. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(63), 31963–31983. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2021.06.218>

Estévez, R. A., Espinoza, V., Ponce Oliva, R. D., Vásquez-Lavín, F., & Gelcich, S. (2021). Multi-Criteria Decision Analysis for Renewable Energies: Research Trends, Gaps and the Challenge of Improving Participation. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 3515, 13(6), 3515. <https://doi.org/10.3390/SU13063515>

Filippov, S. P., & Yaroslavtsev, A. B. (2021). Hydrogen energy: development prospects and materials. *Russian Chemical Reviews*, 90(6), 627–643. <https://doi.org/10.1070/RCR5014/XML>

Fuñez, C., & Reyes, L. (2019). *No Title El hidrógeno como vector energético pieza clave en la descontaminación de la economía chilena.*

Hosseini, S. E., & Wahid, M. A. (2020). Hydrogen from solar energy, a clean energy carrier from a sustainable source of energy. *International Journal of Energy Research*, 44(6), 4110–4131. <https://doi.org/10.1002/ER.4930>

Inter-American Development Bank. (2021). *El papel de la transición energética en la recuperación sostenible de América Latina y el Caribe | Publications.* <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/El-papel-de-la-transicion-energetica-en-la-recuperacion-sostenible-de-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>

Jovan, D. J., Dolanc, G., & Pregelj, B. (2021). Cogeneration of green hydrogen in a cascade hydropower plant. *Energy Conversion and Management: X*, 10, 100081. <https://doi.org/10.1016/J.ECMX.2021.100081>

Kakoulaki, G., Kougias, I., Taylor, N., Dolci, F., Moya, J., & Jäger-Waldau, A. (2021). Green hydrogen in Europe – A regional assessment: Substituting existing production with electrolysis powered by renewables. *Energy Conversion and Management*, 228, 113649. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2020.113649>

Kovač, A., Paranos, M., & Marciuš, D. (2021). Hydrogen in energy transition: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(16), 10016–10035. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2020.11.256>

Ma, F., Li, L., Zeng, Q., & Zheng, J. (2020). Development Concept of Integrated Energy Network and Hydrogen Energy Industry Based on Hydrogen Production Using Surplus Hydropower. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 555(1), 012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/555/1/012022>

MEER. (2016). *MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGIA RENOVABLE*

PRESENTÓ EL PRIMER ATLAS EÓLICO DEL ECUADOR – Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. <http://historico.energia.gob.ec/ministerio-de-electricidad-y-energia-renovable-presento-el-primer-atlas-eolico-del-ecuador/>

Melaina, M., Penev, M., & Heimiller, D. (2013). *Resource Assessment for Hydrogen Production: Hydrogen Production Potential from Fossil and Renewable Energy Resources.* <https://doi.org/10.2172/1260322>

MERNNR. (2021). *Plan Maestro de Electricidad.* chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.rekursyenergia.gob.ec%2Fwp-content%2Fuploads%2F2020%2F01%2F4.-EXPANSION-DE-LA-GENERACION.pdf&clen=3814251&chunk=true

Milbrandt, A., & Mann, M. (2009). *Hydrogen Resource Assessment: Hydrogen Potential from Coal, Natural Gas, Nuclear, and Hydro Power.* <https://doi.org/10.2172/950142>

Naciones Unidas. (2021). *COP26 THE GLASGOW CLIMATE PACT.* <https://ukcop26.org/wp-content/uploads/2021/11/COP26-Presidency-Outcomes-The-Climate-Pact.pdf>

Nadaleti, W. C., Borges dos Santos, G., & Lourenço, V. A. (2020). The potential and economic viability of hydrogen production from the use of hydroelectric and wind farms surplus energy in Brazil: A national and pioneering analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(3), 1373–1384. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2019.08.199>

Nadaleti, W. C., Lourenço, V. A., & Americo, G. (2021). Green hydrogen-based pathways and alternatives: Towards the renewable energy transition in South America's regions – Part A. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(43), 22247–22255. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2021.03.239>

Ni, M., Leung, M. K. H., Sumathy, K., & Leung, D. Y. C. (2006). Potential of renewable hydrogen production for energy supply in Hong Kong. *International Journal of Hydrogen Energy*, 31(10), 1401–1412. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2005.11.005>

NREL. (2022). *Renewable Electrolysis | Hydrogen and Fuel Cells | NREL.*

<https://www.nrel.gov/hydrogen/renewable-electrolysis.html>

Olateju, B., & Kumar, A. (2016). A techno-economic assessment of hydrogen production from hydropower in Western Canada for the upgrading of bitumen from oil sands. *Energy*, 115, 604–614.

<https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2016.08.101>

Padilha, J. C., da Trindade, L. G., de Souza, R. F., & Miguel, M. (2009). An evaluation of the potential of the use of wasted hydroelectric capacity to produce hydrogen to be used in fuel cells in order to decrease CO₂ emissions in Brazil. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(19), 7898–7902.

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.07.074>

Posso, F., Narváez, R. A. C., Sigüencia, J., & Sánchez, J. (2017). Use of Municipal Solid Waste (MSW)-Derived Hydrogen in Ecuador: Potential Applications for Urban Transportation. *Waste and Biomass Valorization* 2017 10:6, 10(6), 1529–1537.

<https://doi.org/10.1007/S12649-017-0161-1>

Posso, F., Sánchez, J., & Sigüencia, J. (2016). Estimación del Potencial de Producción de Hidrógeno a partir de Energía Solar Fotovoltaica en Ecuador. *Revista Técnica “Energía,”* 12(1).

<https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v12.n1.2016.62>

Posso, F., Sigüencia, J., & Narváez, R. (2020). Residual biomass-based hydrogen production: Potential and possible uses in Ecuador. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(26), 13717–13725.

<https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2019.09.235>

Posso, F., & Zambrano, J. (2014). Estimation of electrolytic hydrogen production potential in Venezuela from renewable energies. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(23), 11846–11853.

<https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2014.06.033>

Posso Rivera, F., & Sánchez Quezada, J. (2014). La Economía del Hidrógeno en el Ecuador: oportunidades y barreras. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 6(2).

<https://doi.org/10.18272/aci.v6i2.187>

Riveros-Godoy, G. A., Cavaliero, C., & Silva, E. (2013). Analysis of electrolytic hydrogen production models and distribution modes for public urban transport: study case in Foz do Iguacu, Brazil. *International Journal of Energy Research*, 37(10), 1142–1150. <https://doi.org/10.1002/ER.2972>

Sadik-Zada, E. R. (2021). Political Economy of Green Hydrogen Rollout: A Global Perspective. *Sustainability 2021*, Vol. 13, Page 13464, 13(23), 13464. <https://doi.org/10.3390/SU132313464>

Sigal, A., Leiva, E. P. M., & Rodríguez, C. R. (2017). Assessment of the potential for hydrogen production from renewable resources in Argentina. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(16), 8204–8214. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2014.03.157>

Siyal, S. H., Mentis, D., Mörtberg, U., Samo, S. R., & Howells, M. (2015). A preliminary assessment of wind generated hydrogen production potential to reduce the gasoline fuel used in road transport sector of Sweden. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(20), 6501–6511. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2015.03.108>

Tian, L. (2021). *Almacenamiento químico de energía eólica: producción de hidrógeno*. <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/180149>

Valverde Tapiador, A. (2021). *Sistema Híbrido Eólico Fotovoltaico con Almacenamiento para Producción de Hidrógeno*.

Incidencias del COVID-19 en el tránsito vehicular en la ciudad de Portoviejo– Ecuador: Intersección entre las avenidas Manabí y América

Covid-19 incidents in vehicular traffic in the city of Portoviejo – Ecuador: Intersection between Manabí and America avenues

Ramiro Zambrano¹; Jeisson García², Jimmy García-Vinces³, Daniel Delgado⁴

¹Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Avenida José María Urbina, Portoviejo, Ecuador. Email: rzambrano7118@utm.edu.ec

²Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Avenida José María Urbina, Portoviejo, Ecuador. Email: jgarcia8085@utm.edu.ec

³Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Avenida José María Urbina, Portoviejo, Ecuador. Email: jimmy.garcia@utm.edu.ec

⁴Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Avenida José María Urbina, Portoviejo, Ecuador. Red de Desarrollo Urbano Sostenible de Manabí, Portoviejo, Ecuador. Email: daniel.delgado@utm.edu.ec

0000-0001-5251-8037

DOI: <https://doi.org/10.31243/id.v16.2022.1643>

Resumen

El COVID-19 ha generado modificaciones en muchos sectores a nivel mundial; entre estos, el tránsito vehicular. El objetivo de la presente investigación fue comparar la distribución del tránsito vehicular actual, su frecuencia y motivos de uso frente a resultados obtenidos en investigaciones realizadas en 2019 en la intersección de las avenidas Manabí y América en la ciudad de Portoviejo – Ecuador, como insumo para determinar la incidencia provocada por la pandemia en el comportamiento vehicular de la ciudad. La metodología consideró la aplicación de aforos vehiculares realizados en varios días de la semana que no se vieran alterados con eventos extraordinarios que puedan sesgar los resultados de la investigación, junto con la aplicación de encuestas virtuales dirigidas a 4000 conductores y a su interpretación estadística mediante el coeficiente de correlación de Pearson (r). Los resultados

permitieron identificar aspectos positivos y negativos en la movilidad vehicular, como la disminución del 8% en la utilización del vehículo liviano y el aumento en la circulación de bicicletas del 28%. Se registraron modificaciones poco perceptibles desde un análisis global ($r=0.99$) y, mediante un análisis independientemente para cada tipo de transporte, las consecuencias en su comportamiento fueron consideradas medio-bajas, con valores de r entre 0.79 y 0.99.

Palabras clave:

Hidrógeno, Energías Renovables, Vector Energético, Electrólisis

Abstract

COVID-19 has generated modifications in many sectors worldwide; among these, vehicular traffic. The objective of this work was to compare the distribution of current vehicular traffic, its frequency, and reasons for use against results obtained in investigations carried out in 2019 at the intersection of América and Manabí avenues in the city of Portoviejo - Ecuador, as an input for determine the incidence caused by the pandemic in the vehicular behavior of the city. The methodology considered the application of vehicle counts carried out on several days of the week that were not altered by extraordinary events that could skew the results of the research, together with the application of virtual surveys directed at 4,000 drivers and their statistical interpretation through the Pearson's correlation coefficient (r). The results made it possible to identify positive and negative aspects in vehicular mobility, such as the 8% decrease in the use of light vehicles and the 28% increase in the circulation of bicycles. Little perceptible modifications were registered from a global analysis ($r = 0.99$) and, by means of an independent analysis for each type of transport, the consequences in their behavior were considered medium-low, with r values between 0.79 and 0.99.

Keywords:

Hydrogen, Renewable Energies, Energy Vector, Electrolysis

Introducción

El crecimiento vehicular acelerado es un inconveniente que afecta a casi todas las ciudades en el mundo, generando congestionamiento de magnitudes considerables, que provocan una inadecuada movilidad urbana (Delgado et. al, 2021).

Un problema común encontrado principalmente en América del Sur es el crecimiento sin una planificación urbanística adecuada, sin considerar el desarrollo sostenible de sus ciudades, lo que provoca el uso masivo del transporte privado, debido a las distancias territoriales y funcionales que dificultan al peatón realizar desplazamientos diarios a diferentes puntos de interés y servicios públicos (Delgado et. al, 2020).

Pocas ciudades en Ecuador se han preocupado por conseguir una correcta movilidad urbana, entre estas se encuentran Quito, Portoviejo y Cuenca, donde se han desarrollado medidas para sensibilizar a la población sobre la importancia de implementar estrategias para adaptarse al desarrollo urbano (Chiluisa et al., 2020).

Portoviejo, al ser una ciudad con alta actividad comercial y burocrática (FLACSO, 2015), por ser la capital de la provincia de Manabí, también es afectada por graves problemas de congestión vehicular. Según López et al (2020), la intersección entre las Avenidas América y Manabí, ha sido identificada como la nueva “zona bancaria” debido a las diversas entidades que se desarrollan actualmente en la zona de estudio, lo que ha generado a simple vista una alta concentración de personas y, por ende, el aumento en la demanda de movilización, que se ve reflejado en el número de vehículos promedio que transitan por día en el sector, que fue de 30061 vehículos para noviembre de 2019, de los cuales el 75% corresponde a vehículos livianos. El número promedio de peatones que circuló por la zona de estudio fue de 12362 personas (Ruiz et. al, 2020).

Con respecto al COVID-19 durante abril del 2020, Ecuador fue uno de los países con mayor número de casos confirmados (24675) y muertes (883) en Latinoamérica y el caribe (W.H.O, 2019), lo cual generó un colapso en el sistema de salud nacional. Estos acontecimientos generaron que el gobierno nacional, el 16 de marzo del 2020, declarara estado de excepción y emergencia sanitaria dentro de todo el territorio ecuatoriano (Hui et al., 2020). Entre las medidas restrictivas implementadas, el 17 de marzo se limitó la libre circulación de vehículos y personas mediante franjas horarias y número de matrícula vehicular, excepto el transporte de mercancías, abastecimiento de servicios básicos, seguridad y salud (Gómez et al., 2021).

Actualmente la mayor parte de las restricciones en la movilidad han quedado eliminadas (se mantiene restricción por aforos en buses de transporte), pero aún no se han recuperado las actividades con las que normalmente la ciudad de Portoviejo estaba acostumbrada a laborar y la confianza en los habitantes y visitantes por retomar su vida cotidiana normal similar al estilo prepandemia (Mendoza & Zambrano, 2021). Por tal motivo, el objetivo de la presente investigación es analizar la composición del tránsito vehicular actual mediante la aplicación de aforos y

encuestas dirigidas a la comunidad y compararla con investigaciones realizadas antes de la pandemia (López et al., 2020), para conocer su evolución, aplicando el coeficiente r de Pearson. Los resultados permitieron identificar aspectos positivos y negativos que provocó la pandemia en el tránsito vehicular. Esta información se proporcionará a las autoridades encargadas para poder fortalecer o superar los aspectos identificados, dependiendo de su necesidad.

Metodología

Basados en la metodología propuesta por López et al. (2020), se realizó un aforo vehicular durante las fechas 21, 23 y 25 de junio de 2021, con intervalos de tiempo de 15 minutos durante las 07h00 y 19h00, con la finalidad de determinar la composición del tránsito actual en la intersección de las Avenidas Manabí y América de la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí-Ecuador, días en los cuales no se registró ningún acontecimiento extraordinario que genere desviación en los datos obtenidos (Casanova & Delgado, 2015).

Posteriormente, mediante la aplicación de encuestas virtuales dirigidas a una muestra de la población en estudio (5% del número de vehículos registrados), se analizó la percepción de los conductores que transitan con frecuencia por la intersección, mediante encuestas similares a las elaboradas por López et al. (2020) para poder conocer con mayor precisión el impacto causado por el COVID-19 en el tránsito vehicular del sector estudiado.

Los datos obtenidos se distribuyeron en matrices ordenadas que permitieron identificar los puntos más importantes de la información recolectada, como la identificación de las horas pico, el principal medio de transporte, los motivos de viaje, entre otros.

Se aplicó además el coeficiente de correlación de Pearson (r) entre los resultados actuales y los obtenidos en 2019, para determinar un índice que permita interpretar la dinámica sufrida en el comportamiento vehicular. Con los resultados generados, se identificaron los principales cambios que fueron provocados por el COVID-19 dentro del tránsito vehicular, y se clasificaron en aspectos positivos y negativos.

Resultados y discusión

Condiciones geométricas

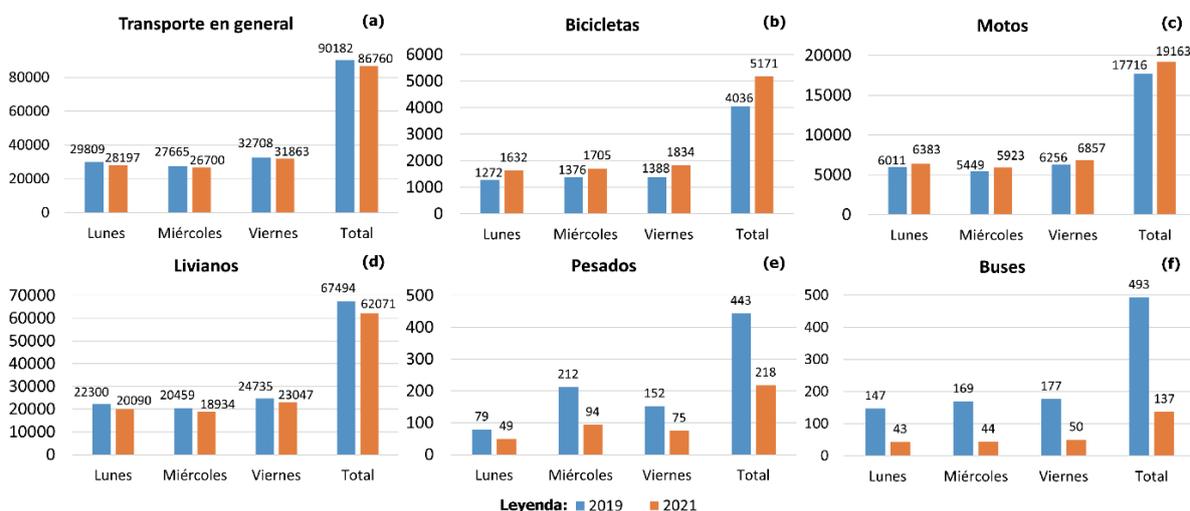
La intersección bajo estudio, que corresponde a la interacción de dos avenidas muy importantes en la ciudad de Portoviejo (fig. 1) se ubican en un sector donde la afluencia vehicular es muy elevada, debido a la existencia de varios puntos de interés, como entidades bancarias y gubernamentales.

Conformación de los tipos de transporte

Mediante los aforos realizados en los días especificados en la metodología, se obtuvieron los resultados (Fig. 1):

Figura 1

Distribución de los tipos de transporte en la intersección de las Avenidas Manabí y América (2019 y 2021): transporte en general (a), bicicletas (b), motos (c), livianos (d), pesados (e) y buses (f). El eje “y” corresponde a la frecuencia del tipo de transporte (unidades).



El análisis de la Fig. 1a determina que, mediante un enfoque global (todos los medios de movilización), el tránsito vehicular comparando los resultados obtenidos entre 2019 y 2021, tuvo una disminución de casi el 4% dentro de la zona de estudio (casi 17000 unidades menos). Sin embargo, si el análisis se realiza por cada tipo de transporte en particular, se puede apreciar que existen cambios considerables en varios medios de transporte en específico.

En cuanto a las bicicletas (Fig. 1b), el COVID-19 generó un aumento de casi el 30% de su frecuencia de uso dentro del área de estudio, lo que significa un incremento en la circulación de aproximadamente 1200 unidades (un aumento promedio de 400 unidades por día). De manera similar, las motocicletas (Fig. 1c) presentaron un aumento en su utilización de más de 8%, que representa casi 1500 unidades más con relación a los resultados obtenidos en el 2019 prepandemia (aumento de 500 unidades diarias en promedio).

Por el contrario, dentro de los tipos de movilización livianos, pesados y buses (Fig. 1d, e, f), se observaron disminuciones en su utilización y, por ende, en su frecuencia de circulación. Los vehículos livianos (Fig. 1d) redujeron su frecuencia casi un 8%, lo que supone una cantidad aproximada de 5500 automóviles menos sobre las vías en estudio (aproximadamente 1800 vehículos menos por día). Al analizar los vehículos pesados y buses (Fig. 1e y 1f), los cambios porcentuales sufridos se tornaron más representativos, pero su aporte en la composición vehicular es muy bajo para generar cambios considerables en la movilidad urbana. Estos dos medios de movilización tuvieron una disminución del 51% y 72% respectivamente, que representa aproximadamente a 220 vehículos pesados y 350 buses menos dentro de la zona de estudio (aproximadamente 70 vehículos pesados y 115 buses menos por día).

Estos resultados suponen una variabilidad media-baja dentro del comportamiento de los medios de transporte con relación a los datos obtenidos en noviembre de 2019 frente a los datos generados en junio 2021 de manera individual, afirmando que el COVID-19 generó un impacto que podría ser considerable dentro de la movilidad urbana con respecto a la utilización de los medios de circulación.

En cuanto a la distribución en la representación porcentual de cada tipo de transporte, al analizar los 3 medios más representativos en la composición del tránsito vehicular, las bicicletas pasaron de representar el 4.48% en la composición del tránsito en 2019, a 5.96% para el 2021. Las motocicletas para el 2019 representaron el 19.64% del tránsito vehicular, mientras que en el 2021 alcanzaron el 22.09% de su conformación. En cuanto a los vehículos livianos, el tipo de transporte con mayor modificación en su frecuencia significó para el 2019 el 74.84% del tránsito total, mientras que para el 2021 su representación disminuyó al 71.54% de la conformación global (3.3% menos). En general, los 3 medios de transporte

principales pasaron de representar el 98.96% del tránsito total en el 2019 a 99.59% para el 2021.

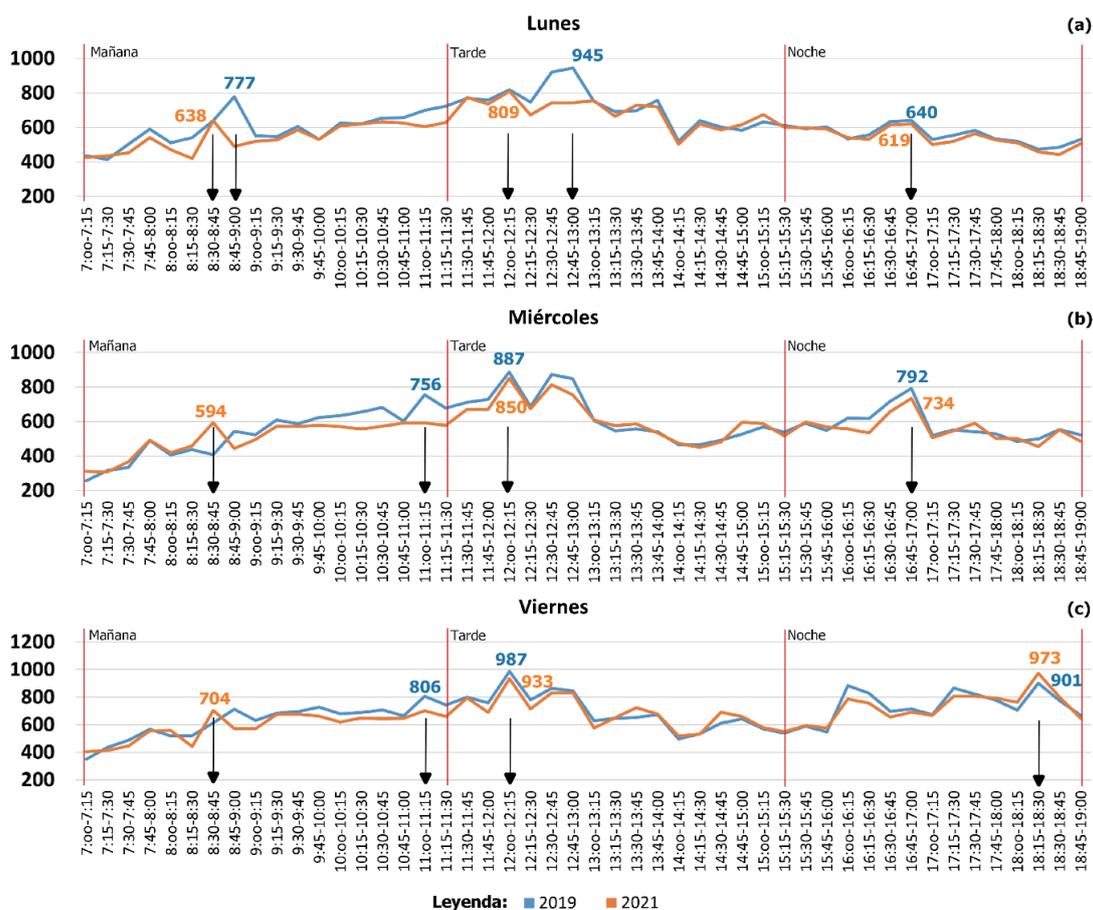
Análisis de las horas pico

Las horas pico representan intervalos muy importantes en el estudio del tránsito y movilidad urbana, debido a que identifican los horarios con mayor circulación vehicular para cada día de estudio, identificando una posible tendencia en el comportamiento de la movilidad dentro de la zona de estudio.

Mediante la Fig. 2, se identificaron las horas pico durante el lunes, miércoles y viernes, tanto para el 2019 como 2021 y clasificados en tres jornadas distintas: mañana (07h00 - 11h30), medio día (11h30 - 15h30) y tarde (15h30 - 19h00).

Figura 2

Horas pico en la intersección de las Avenidas América y Manabí distribuidas en 3 secciones (mañana, tarde y noche). El eje “y” corresponde a la frecuencia de los vehículos (unidades), las líneas rojas representan la separación de secciones y las flechas indican el intervalo pico correspondiente.



Mediante el análisis de las Figuras 2a, b y c, se puede identificar una pequeña disminución en el número de vehículos que circulan durante los intervalos de tiempo denominados “horas pico”, en casi todos los eventos analizados entre el 2019 y 2021. Únicamente se observa un incremento en el número de vehículos dentro de las “horas pico”, que se generó el viernes 2021 y que comparte un similar horario de ocurrencia (18h15-18h30) (Fig. 2c), alcanzando el 8% de incremento con relación al año 2019.

En Fig. 2 se observa además que los intervalos de ocurrencia de las horas pico durante los 3 días para el 2021 han presentado comportamientos más homogéneos para cada jornada en casi el 90% de los eventos registrados (únicamente se diferencia el viernes en la tarde), a diferencia del 2019 donde los resultados eran más distintos.

La mayor diferencia entre las horas pico actuales y las registradas en 2019 se registró el miércoles en la jornada matutina (Fig. 2b), donde se observó una disminución de casi el 22%, que representa aproximadamente a 162 vehículos durante los 15 minutos de intervalo (11 vehículos menos por minuto).

Encuestas aplicadas

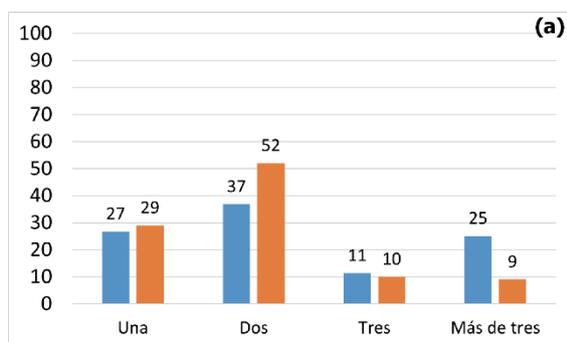
Como se especificó en la metodología de la presente investigación, se aplicó una encuesta para determinar el comportamiento de los conductores dentro de la zona de estudio, dirigida a 4000 conductores que representan aproximadamente el 5% de los vehículos registrados mediante el aforo vehicular. La encuesta fue realizada de manera virtual mediante la aplicación de formularios Google, los cuales fueron difundidos por correos electrónicos y redes sociales dirigidos a la población objetiva. Parte de las preguntas generadas fueron similares a las implementadas por López et al (2020), adicionando interrogantes que permitan conocer la percepción de los conductores sobre los cambios generados por el COVID-19.

Los resultados de las encuestas pueden observarse en la Fig. 3:

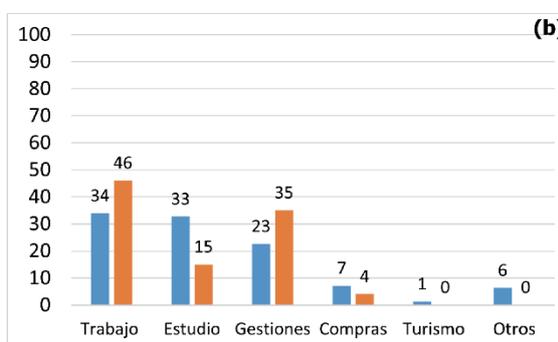
Figura 3

Resultados de las encuestas realizadas en 2019 y 2021. El eje “y” corresponde a la frecuencia porcentual de respuestas obtenidas y el eje “x” indica las opciones propuestas.

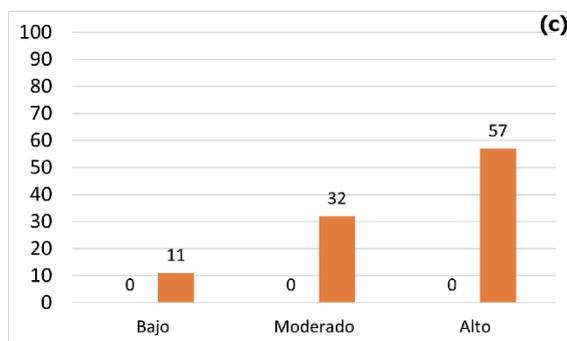
1. ¿Cuántas veces al día transita por el nuevo sector bancario?



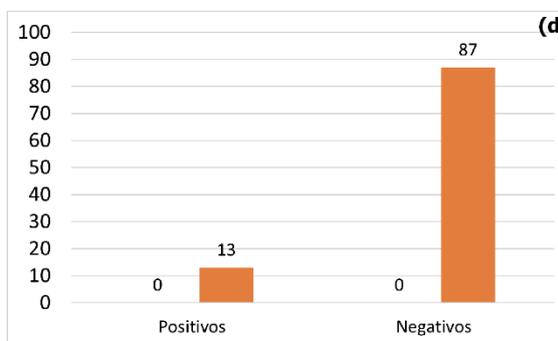
2. ¿Motivo por el que transita por la zona bancaria?



3. Según su percepción, ¿cuál es la magnitud del cambio generado por el COVID-19 en el tránsito vehicular de la zona de estudio?



4. Considera usted que los cambios generados por el COVID-19 en el tránsito vehicular son:



Leyenda: ■ 2019 ■ 2021

A diferencia de la muestra escogida actualmente, la muestra realizada en 2019 fue de tan solo 248 conductores, cifra que podría no ser representativa para conocer con mayor detalle el comportamiento de los conductores dentro de la zona de estudio, pero que permite identificar ciertos patrones que sirven como base para la comparación con los resultados actuales.

Por este motivo, las preguntas 1 y 2 mostradas en las Figuras 3a y 3b, son similares a las elaboradas en 2019, con pequeñas modificaciones (en la pregunta 1 se eliminó la opción “Ninguna”, debido a que, en la investigación actual, las encuestas fueron dirigidas únicamente a la población involucrada). Esta modificación puede

observarse en la suma del total de frecuencia de las opciones realizadas en la pregunta 1 para 2019, la cual debería tener un total de 248 respuestas (López et al., 2020). Cabe recalcar que las preguntas 1 y 2 se analizarán únicamente de manera porcentual, debido a la diferencia del tamaño de la muestra.

Al analizar la pregunta 1 (Fig. 3a), se pueden observar diferencias en la frecuencia de circulación de los conductores. Los resultados indican que el número de conductores que transitaba por una sola ocasión por la vía de estudio aumentó un 2% su frecuencia, mientras que las opciones superiores a “dos ocasiones” registraron disminuciones porcentuales, especialmente en la opción “dos ocasiones”, la cual sufrió una disminución del 15%. Estos resultados permiten identificar que el COVID-19 redujo de manera moderada la frecuencia con la que los vehículos circulan por la zona de estudio, posiblemente por las medidas adoptadas para frenar la propagación del virus, las cuales consisten en fomentar el trabajo y la educación virtual.

En cuanto a la pregunta 2 (Fig. 3b), relacionada con los motivos de viaje, los cambios en los comportamientos registros entre los dos años fueron más notables. Se observó que la circulación por trabajo aumentó el 12% para el 2021, mientras que la circulación por estudios tuvo una disminución del 18%. Al analizar el tránsito por “gestiones”, se observa un aumento del 12% para el 2021, mientras que los demás motivos de movilización tuvieron modificaciones porcentuales muy bajas y poco influyentes en la movilidad actual. Por tanto, similar a los motivos planteados en el análisis de la pregunta 1, el COVID-19 también influye de manera moderada en el comportamiento de los conductores en cuanto al motivo de su desplazamiento. En contraste, a pesar de que actualmente se fomenta el teletrabajo (trabajo virtual), este motivo de desplazamiento tuvo un aumento considerable, posiblemente producto de la dinámica de las otras opciones presentadas (disminución de la circulación por estudios y el aumento de circulación por gestiones), resaltando la necesidad de contar con una mayor muestra de datos que las registradas en el 2019 para un análisis más acertado y que en investigaciones posteriores se podrá obtener.

Las preguntas 2 y 3 (Fig. 3c y d), corresponden exclusivamente a la investigación actual, por lo que no se comparará con datos anteriores. Al analizar la percepción en la magnitud del cambio generado por el COVID-19 en el tránsito vehicular, mostrada en la pregunta 3 (Fig. 3c), se observa que la mayor cantidad de la muestra encuestada (57%) considera que el impacto provocado por la pandemia en el tránsito vehicular ha sido alto, lo que significaría además un cambio considerable en el estilo de vida de la muestra analizada.

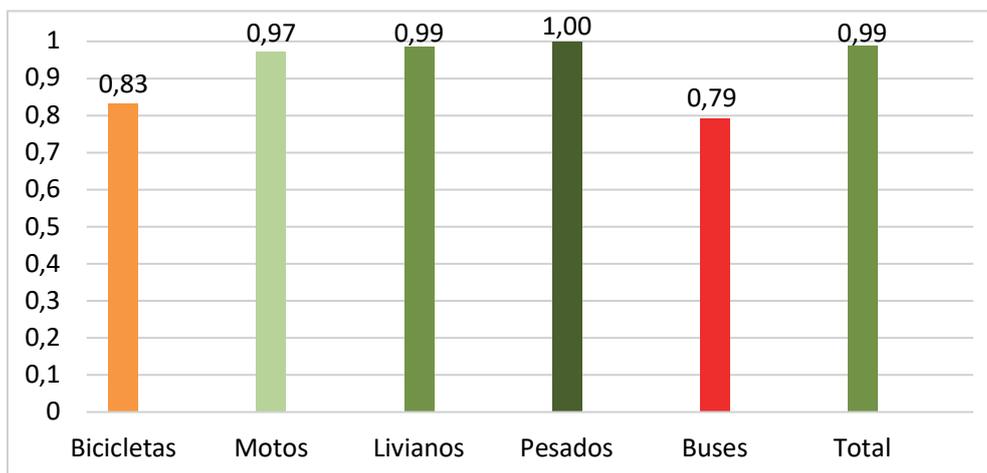
Para complementar la pregunta 3, la pregunta 4 (Fig. 3d) permitió clasificar los impactos generados por el COVID-19 como positivos o negativos. El 87% de la muestra analizada, indica que los impactos generados por la pandemia sobre el tránsito vehicular han sido negativos, mientras que únicamente el 13% de los encuestados indica que los cambios han sido positivos.

Aplicación del coeficiente de correlación de Pearson

Los coeficientes de correlación son empleados para determinar la dependencia lineal existente entre dos variables (Emerson, 2015). Por tal motivo, en la presente investigación se aplicó el coeficiente de correlación “r” de Pearson, para poder analizar la variación existente entre el comportamiento registrado en el 2019 frente a lo obtenido en 2021. La Fig. 4 muestra los resultados obtenidos por el coeficiente de correlación de Pearson, aplicados para cada medio de transporte y a los resultados totales.

Figura 4

Coeficientes de correlación “r” de Pearson para los tipos de transporte. El eje “x” representa el valor del coeficiente de correlación.



El índice de correlación “r” de Pearson tiene un rango de valores entre +1 a -1, significando un valor 0 como una asociación inexistente entre las dos variables (no tienen similitud). Cuando los valores de r son mayores a 0, la relación entre variables es positiva, significando que a medida que una variable aumenta, la otra también lo hace (directamente proporcional) y, mientras más cerca esté de 1, las similitudes en los comportamientos de ambas variables son mucho mayores, siendo 1 una

correlación positiva perfecta. Cuando los valores son inferiores a 0, la asociación es negativa; esto significa, cuando una variable aumenta, la otra disminuye (inversamente proporcional), siendo -1 una correlación negativa perfecta (Suárez, 2011).

Mediante los datos presentados en la Fig. 4, se puede determinar que la correlación global (positiva) de todos los medios de transporte con referencia a los resultados mostrados en 2019 y 2021 fue casi perfecta, alcanzando un valor de “r” de 0.99, lo cual significa que el comportamiento registrado entre los dos años de estudio fue muy similar y, por tanto, los efectos generados por el COVID-19 al tránsito vehicular fueron poco relevantes. Sin embargo, si el análisis de correlación se lo realiza por separado, varios de los medios de transporte tuvieron modificaciones considerables entre los dos años de estudio.

Las bicicletas y los autobuses sufrieron la mayor modificación en sus comportamientos, con 0.83 y 0.79 respectivamente, lo que significa que el COVID-19 tuvo un impacto elevado en estos dos medios de movilización, con respecto al coeficiente de correlación (aumento y disminución considerable en su frecuencia de circulación, incidiendo en la distribución porcentual del tránsito).

Si se observan los resultados de los vehículos pesados, la diferencia porcentual entre el 2019 y 2021 fue de casi el 51%, pero su variación fue mucho menor a la registrada en los buses, diferencia que pudo observarse en el coeficiente de correlación de estos dos tipos de transporte. Es decir, al tener pocas unidades desplazadas por la zona de estudio (un poco más de 200 unidades de diferencia con respecto al vehículo pesado entre 2019 y 2021), provoca que las modificaciones en su comportamiento sean menos perceptibles, por lo que su coeficiente de correlación fue muy bueno ($r=0.99$). Así, el vehículo liviano que tuvo una diferencia de más de 5000 vehículos en total entre los dos años tuvo un coeficiente de correlación muy bueno ($r=0.99$) debido a que, en su análisis porcentual, este gran número de vehículos livianos representó a tan solo el 8% de diferencia.

Identificación de principales aspectos positivos y negativos generados por el COVID-19 en el tránsito vehicular

Los efectos generados por el COVID-19 en los diversos campos de la sociedad han sido muy variados, siendo positivos para ciertos sectores y muy negativos (incluso devastadores) para otros.

Para el caso del tránsito vehicular, el COVID-19 también ha generado aspectos positivos y negativos, y algunos de estos se detallan en las dos siguientes secciones.

Aspectos positivos

Como parte de los puntos positivos, el COVID-19 aumentó considerablemente la utilización de un medio de movilización sustentable y amigable con el ambiente y con una correcta movilidad urbana, la bicicleta. Este medio de transporte tuvo un aumento en su circulación de más del 28% para el 2021.

La reducción de la utilización de los vehículos livianos también se considerado otro punto a favor muy importante, debido a que, el vehículo liviano es considerado uno de los medios de transporte más perjudiciales en la movilidad urbana (Cedeño et al., 2020), y su disminución alcanzó el 8% en 2021 en comparación con los datos obtenidos en 2019.

Otro de los puntos a favor fue la reducción de los vehículos pesados dentro de la zona de estudio que, a pesar de tener un número bajo de frecuencia, su volumen dentro de la vía genera problemas importantes para una movilidad adecuada.

Aspectos negativos

Entre los aspectos negativos se registró el aumento en la frecuencia de movilización de motocicletas, la cual, a más de generar emisión de gases contaminantes producto de los combustibles fósiles empleados, aumenta también el riesgo de accidentes, debido a que, según Alcívar (2017), las motocicletas ocasionan entre el 40% y 60% de accidentes de tránsito en Ecuador, indicando además que la cultura en el manejo de motocicletas no es adecuada, por lo que en muchas ocasiones sus conductores hacen caso omiso a las leyes de tránsito, como semáforos, límites de velocidad y preferencia en intersecciones.

La disminución de la utilización de autobuses también significaría un aspecto negativo para el tránsito vehicular, debido a que este comportamiento incentivaría la utilización de otro tipo de transporte que puede verse reflejado en el aumento de bicicletas y motocicletas, siendo considerada esta última como un medio de movilización no tan adecuado para una correcta movilidad.

Conclusiones

El COVID-19 generó modificaciones medio-bajas en la composición del tránsito vehicular. A pesar de esto, el puesto que ocupan los principales tres medios de transporte (vehículos livianos, motocicletas y bicicletas) en cuanto a su frecuencia de utilización se mantuvo inalterable.

El tipo de transporte que sufrió un mayor impacto en su distribución porcentual fueron los buses (72%) y su modificación en el comportamiento cotidiano se vio reflejado en el coeficiente de correlación de Pearson (r) que tuvo un valor de 0.79. Mediante estos resultados y al ser los buses considerados como el tercer medio de transporte más eficiente en una correcta movilidad urbana (por debajo de la movilización a pie y bicicletas), las afectaciones que provocará este comportamiento si la tendencia de su utilización se mantiene constante serán muy significantes, generando que medios de transporte más perjudiciales, como vehículos livianos y motocicletas, aumenten considerablemente su frecuencia de uso en los próximos meses.

A pesar de que los vehículos livianos tuvieron una disminución del 8% y un coeficiente de correlación de 0.99 que significaría una modificación en su comportamiento entre el 2019 y 2021 casi imperceptible, será el que mayor impacto cause a la movilidad vehicular debido al volumen que representa, que se ha mantenido en más del 70% de la composición del tránsito total durante el tiempo analizado. Esta disminución, a pesar de ser pequeña, es considerada favorable y se debe procurar mantener su tendencia de uso a la baja, incentivando especialmente la utilización de los medios de transporte públicos como lo buses.

Se recomienda realizar un análisis posterior de la composición del tránsito vehicular, aún en tiempos de pandemia y posterior a su finalización (o al recuperar mayormente el estilo de vida acostumbrado pre pandemia), para conocer con mayor precisión la dinámica en el comportamiento de la movilidad urbana y obtener mejores resultados de análisis. Esta metodología podría aplicarse en las principales ciudades del Ecuador, permitiendo identificar puntos favorables que puedan ser repotenciados, con miras a la obtención una movilidad urbana sustentable y sostenible.

Agradecimientos

Los autores agradecen la información a detalle correspondiente a la distribución del tránsito vehicular en la investigación denominada “Análisis del tránsito vehicular, alternativas y soluciones a congestionamientos en la Avenida América, entre avenida Manabí y calle Ramón Fernández-Portoviejo-Manabí”, a cargo de los investigadores López, L., Pita, W., Delgado, D., y Ortiz, E. en 2019 y publicado en 2020.

Bibliografía

Alcívar, F. (2017). Determinación de los factores de riesgo de lesiones traumáticas por accidentes en motocicletas en el Hospital Nicolás Cotto Infante del cantón Vinces provincia de Los Rios, año 2015 (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Médicas. Carrera de Medicina).

Casanova, G., & Delgado, D. (2015). Diagnóstico del tráfico, alternativas y soluciones al congestionamiento vehicular en la Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Manabí, Ecuador: Universidad Técnica de Manabí.

Cedeño, R., Álava, K., Delgado, D., & Ortiz, E. (2020). Caracterización de la movilidad vehicular y peatonal en la Universidad Técnica de Manabí. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT* ISSN: 2588-0721, 5(2), 64-75.

Chiluisa, M., Jalil, J., Vallecilla, A., Delgado, D. (2020). *Movilidad Urbana Sustentable: Centro Histórico de Latacunga - Ecuador*, Editorial Grupo Compás, Guayaquil Ecuador, 277 pag.

Delgado D., Quiroz S., Casanova G., Álava M.A.C., da Silva J.P.C. (2021) Urban Mobility Characterization and Its Application in a Mobility Plan. Case Study: Bahía de Caráquez – Ecuador. In: da Costa Sanches Galvão J.R. et al. (eds) *Proceedings of the 1st International Conference on Water Energy Food and Sustainability (ICoWEFS 2021)*. ICoWEFS 2021. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75315-3_64

D. Delgado, JP. Silva, G. Casanova, E. Ortiz (2020). *Plan de movilidad urbana y espacios públicos Sostenibles. Caso de estudio Bahía de Caráquez*, Editorial Grupo Compás, Guayaquil Ecuador, 145 pag.

Emerson, R. W. (2015). Causation and Pearson's correlation coefficient. *Journal of visual impairment & blindness*, 109(3), 242-244.

FLACSO, (2015). El Cantón Portoviejo. Recuperado el 19 de junio de 2021 de <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/catalog/resGet.php?resId=13938#:~:text=Portoviejo%2C%20es%20la%20capital%20de,35%20Km.%20de%20la%20costa>

GÓMEZ-GARCÍA, Antonio; ESCOBAR-SEGOVIA, Kenny; CAJÍAS-VASCO, Paúl. (2021). Impacto del COVID-19 en la mortalidad por accidentes de tránsito en provincias de la República de Ecuador. *CienciAmérica*, [S.l.], v. 10, n. 1, p. 24-34, feb. 2021. ISSN 1390-9592. doi: <http://dx.doi.org/10.33210/ca.v10i1.355>.

Hui DS, I Azhar E, Madani TA, Ntoumi F, Kock R, Dar O, Ippolito G, Mchugh TD, Memish ZA, Drosten C, Zumla A, Petersen E. The continuing 2019-nCoV epidemic threat of novel coronaviruses to global health - The latest 2019 novel coronavirus outbreak in Wuhan, China. *Int J Infect Dis*. 2020 feb; 91:264-266. doi: 10.1016/j.ijid.2020.01.009. Epub 2020 Jan 14. PMID: 31953166; PMCID: PMC7128332.

López, L., Pita, W., Delgado, D., & Ortiz, E. (2020). Análisis del tránsito vehicular, alternativas y soluciones a congestionamientos en la Avenida América, entre avenida Manabí y calle Ramón Fernández-Portoviejo-Manabí. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT* ISSN: 2588-0721, 5(2), 11-23.

Mendoza, J. E. Z., & Zambrano, N. M. M. (2021). Estrategia defensiva de los vendedores ambulantes de la zona céntrica de Portoviejo en tiempos del Covid-19. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 6(3), 1820-1842.

Ruiz, J., Vargas, D., Delgado, D., & Ortiz, E. (2020). Análisis del tránsito peatonal, alternativas y soluciones a congestionamientos en la Avenida América, entre Avenida Manabí y Calle Ramón Fernández. Portoviejo-Manabí. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT* ISSN: 2588-0721, 5(2), 33-44.

Suárez Ibujés, M. O. (2011). Coeficiente de correlación de Karl Pearson.

World Health Organization. Novel Coronavirus (2019-NCoV): Situation Report-101. 2020. Disponible en: <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situationreports/20200430-sitrep-101-covid-19.pdf>

Ingeniería inversa aplicada a un dispositivo de ventilación mecánica con presión positiva CPAP

Katherine Molina Cabrera¹; Christian Sánchez León²; Diego Núñez Nuñez³; Cesar Arroba Arroba⁴

¹Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, Ecuador, e-mail: kv.molina@uta.edu.ec

²Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, Ecuador, e-mail: cv.sanchez@uta.edu.ec

³Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, Ecuador, e-mail: df.nunez@uta.edu.ec

⁴Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, Ecuador, e-mail: ch.arroba@uta.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.31243/id.v16.2022.1801>

Resumen

El alto impacto a nivel mundial ocasionado por el COVID-19 cambió la rutina cotidiana a un estilo de vida completamente diferente, donde se requiere una respuesta médica rápida, por esta razón, mediante el estudio denominado “CPAP SAMAY UTA – UCL” a través de adaptaciones e innovaciones la construcción de un dispositivo de soporte ventilatorio no invasivo, por medio de la aplicación de ingeniería inversa. En el cual se replica el modelo CAD desarrollado por el University College de Londres denominado “UCL VENTURA” como patrón inicial para realizar el análisis de su funcionamiento; luego se determina los componentes con el objetivo de identificar aquellos que deban sufrir grandes cambios ya sean dimensionales como en los materiales. Una vez identificados dichos elementos (entrada de oxígeno y soporte) se procede con el redimensionamiento y cálculos de momento de apriete necesario para colocar las válvulas y elementos de entrada y salida de flujo. Finalmente, mediante el mecanizado por CAM, se fabrica el prototipo más económico, pequeño y de fácil

manipulación, cuya presión de oxígeno a la entrada es de cuatro bares y a su salida entrega una presión positiva de hasta 20 mmH₂O que ingresa a las vías respiratorias mediante una mascarilla oronasal.

Palabras clave:

CPAP, COVID-19, ventilación mecánica, presión positiva, mascarilla oronasal, ingeniería inversa

Abstract

The high global impact caused by COVID-19 has changed the daily routine to a completely different lifestyle, where a rapid medical response is required, for this reason, through the project called "CPAP SAMAY UTA - UCL" through of adaptations and innovations the construction of a non-invasive ventilatory support device, through the application of reverse engineering. In which the CAD model developed by the University College of London called "UCL VENTURA" is replicated as an initial pattern to perform the analysis of its operation; then the components are determined in order to identify those that must undergo major changes, both dimensional and material. Once these elements have been identified (oxygen inlet and support), we proceed with the resizing and calculations of the tightening moment necessary to place the valves and flow inlet and outlet elements. Finally, by means of CAM machining, the most economical, small and easy-to-handle prototype is manufactured, whose oxygen pressure at the inlet is four bars and at the outlet delivers a positive pressure of up to 20 mmH₂O that enters the airways through an oronasal mask.

Keywords:

CPAP, COVID-19, mechanical ventilation, positive pressure, oronasal mask, reverse engineering.

Introducción

La gran crisis tanto de salud como económica que se vive a nivel mundial y que se ha dado en pocos meses ha sido consecuencia de la transmisión pandémica del denominado SARS CoV-2 que causa la enfermedad por coronavirus 2019 COVID-19 (L.Ferrer,2020).

A finales del 2019, varios pacientes ingresaron a distintos hospitales con brotes de neumonía en Wuhan (China) y al poco tiempo fue reportado un nuevo Coronavirus, el cual hace que se produzcan alteraciones en el sistema respiratorio, como edema pulmonar, neumonía severa o dificultad respiratoria aguda en los pacientes que lo portan. De los pacientes infectados por Covid-19 aproximadamente el 19% de ellos presentarán la necesidad de oxigenoterapia como soporte respiratorio ya sea por medio de ventilación invasiva como no invasiva (L.Ferrer,2020).

Gran parte del tratamiento en torno a la pandemia de la enfermedad por COVID-19 se ha centrado en la ventilación invasiva (a través de un tubo endotraqueal o traqueotomía) de pacientes gravemente enfermos y en medio de las crecientes preocupaciones de los profesionales médicos sobre los daños asociados con la ventilación invasiva, existe interés en explorar el papel de la ventilación con presión positiva no invasiva (VPPNI) en el tratamiento de la insuficiencia respiratoria hipoxémica aguda (AHRF) y el síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA) debido a COVID-19.

La ventilación mecánica invasiva (VMI) abarca la entubación del paciente, mientras que la no invasiva (VNI) ocupa diferentes métodos ventilatorios como la presión positiva continua en las vías respiratorias (CPAP) o la oxigenoterapia de alto flujo (OAF). Por el evidente hecho de que la pandemia ocasionada por COVID-19 va más allá de la capacidad del sistema de salud, es necesario llevar a que esas técnicas se apliquen de manera temprana para evitar la entubación o el ingreso a las unidades de cuidados intensivos (UCI).

Dado que la CPAP es más fácil de usar que dentro de la VNI, está más disponible y necesita menos experiencia, esta técnica podría ofrecerse como terapia de primera línea en pacientes seleccionados, en particular cuando los recursos son limitados o si no hay acceso inmediato a la ventilación invasiva.

Es así que en la presente investigación muestra la adaptación e innovación de un dispositivo CPAP aplicando ingeniería inversa para su construcción, partiendo desde un análisis del diseño mediante computador (CAD), la determinación de materiales, funcionamiento, creación de piezas, ensamble y finalmente pruebas

través de la mascarilla y hacia las vías respiratorias, lo que ayuda a mantenerlas abiertas.

Metodología

Investigación bibliográfica

El presente estudio se basa en toda la literatura correspondiente a la pandemia, equipos médicos, dispositivos, prototipos, patentes de presión positiva en fuentes como libros, artículos, revistas e investigaciones que ayudaron a tener una mejor noción sobre el dispositivo médico y sus aplicaciones en pacientes.

El ventilador de IMT MEDICAL se controla por microprocesadores para la ventilación e interfaz de usuario, también está diseñado para varias condiciones de los pacientes tratados, pantalla táctil y también cuentan con varios modos de ventilación incluyendo la CPAP, tiene control de horas de servicio, modo automático y manual, sistemas neumáticos (H.D.A, 2020).

Existen también modelos más especializados como el Cf 800 es para terapias para adultos y niños con peso desde 3 kg, dispositivo para apoyar la respiración, no tiene monitoreo, las fallas son detectadas por posibles malfuncionamientos (Enremedical, 2020).

Investigación técnica/ experimental

Al utilizar la Ingeniería inversa se realiza un análisis exhaustivo de cada parte para ir de lo general a lo específico, esto permite que se genere este proceso para adaptar los componentes del dispositivo y que se encuentre al alcance de las conexiones, materiales, herramientas, procesos de fabricación, pruebas según la realidad nacional. (R.Kacmarek, 2011)

Las partes rediseñadas fueron la entrada de aire para ello se selecciona la mejor alternativa por que cumplía con todas las características técnicas requeridas. La opción seleccionada fue un acople roscado el cual costa de cinco partes conexión al CPAP, conexión a la manguera, seguro, empaque y o-ring, con este conjunto se procedió a realizar el primer prototipo de prueba. Mediante este análisis, se realizaron pequeños cambios acorde a los

resultados obtenidos, y mecanizando un acople definitivo, realizando la prueba final, y con resultados positivos. (A. Slutsky, 2011)

Una vez aprobados los diseños se realiza los cálculos para su fabricación, se realiza el dispositivo y se lo somete a pruebas para obtener datos que se puedan comparar con los obtenidos del original, al igual que pruebas físicas. Esto con el fin de recrear el dispositivo CPAP con los procesos para recrear el aparato con los requerimientos necesarios, realizando las pruebas de funcionamiento, consolidando así una base para los dispositivos CPAP.

Investigación descriptiva

El estudio se desarrolla mediante la descripción de las partes y mecanismos del prototipo, siendo primordiales para su posterior fabricación, con planos en dibujo asistido por computadora con dimensiones y materiales. En él se detalla mediante planos de dibujo de todas las partes del dispositivo, con tolerancias, acabado, y datos que puedan identificar todos los detalles de diseño mediante el uso de software. (C. Naranjo, 2020)

Diseño al detalle

Esta etapa es importante pues se consideró todas las características técnicas del dispositivo CPAP y que se repliquen o mejoren el diseño propuesto, para ello se analizó las alternativas para el dispositivo, material, partes, funcionamiento, un diseño adaptando a los requerimientos del mercado nacional todo esto por medio de Ingeniería inversa, con expectativas de futuras producciones a gran escala.

La presente investigación se desarrolló ligada a dos proyectos investigativos: uno de ellos analizó el flujo mediante CFD en software y el otro diseño y creó la máquina para la deformación de tubos hipodérmicos.

Ingeniería la inversa

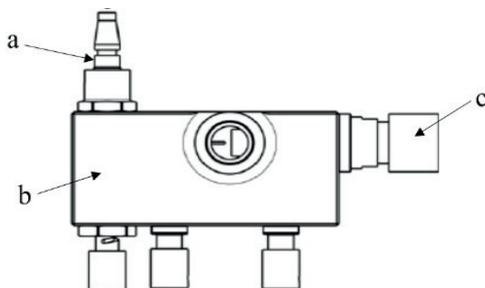
Mediante un análisis del sistema, se identifica todos los componentes originales, realizando un estudio para determinar su material, funcionamiento, factibilidad de fabricación y conexión, con un análisis regresivo, desde el ensamble general a cada parte, transformando las partes que no se adaptan a las condiciones actuales de los hospitales. (M.Echeverri, 2020)

Rediseño

Se comprueba en primera instancia que la mayoría de las partes originales del dispositivo CPAP. Sin embargo, las partes que se enlistan a continuación necesitaron un rediseño para su construcción.

Figura 1

Dispositivo CPAP original



- *Entrada de aire:*

Su diseño original no se adapta a los accesorios de conexión para las tomas de aire de los hospitales, por este motivo se realizaron cambios adaptando a las necesidades hospitalarias del Ecuador, el diseño final cuenta con cinco partes incluyendo el conector al dispositivo, el acople a la manguera de oxígeno, el seguro, empaque y o-ring, conjunto que brinda en total la entrada de aire del dispositivo.

- *Cuerpo central:*

Para el rediseño de este elemento se llevó a cabo un análisis mecánico de fluidos computacional (CFD) (M.Echeverri, 2020) en el cual se comparó el diseño original y el rediseño el cual tiene dimensiones reducidas, en este análisis se determinó que la mezcla de aire y oxígeno no resulta afectada tanto en flujo como en porcentaje de FiO_2 , esto se demostró tanto en el software como en el prototipo realizado.

- *Soporte:*

Para la sujeción del dispositivo se realizó un modelo versátil en el cual se monta en el cuerpo del CPAP de forma permanente. Este diseño cuenta con un perno de acero inoxidable con cabeza hexagonal que se inserta

en el cuerpo del dispositivo, se asegura por medio de una tuerca de acero inoxidable que se encuentra incrustado en el cuerpo evitando movimientos fuera del lugar, cuenta con una tuerca para el ajuste con el soporte metálico y un seguro autoblocante para evitar la pérdida de alguno de estos elementos.

- *Salida de flujo:*

Este elemento se vio forzado a cambiar su longitud debido a la reducción realizada al cuerpo central, sin embargo, su funcionalidad y acabados no se vieron afectados. como calibrador pie de rey micrómetro y rugosímetro.

Materiales

Los materiales elegidos por medio de una selección acorde a los parámetros necesarios para el dispositivo, son: acero inoxidable 304 y poliacetal. A cada elemento del prototipo CPAP se le ha asignado una denominación "GIN" seguida de un número, para identificarlas con facilidad más adelante, en el siguiente capítulo, se muestra una tabla con la imagen de cada parte y su designación. Las partes GIN 15756, GIN 1736, GIN 1761, GIN 1762, GIN1767, GIN 1791, GIN1792, GIN 1768 fueron realizadas en acero inoxidable, y las partes GIN 1794, GIN1741, GIN 1758, GIN1759, GIN 1808 fueron realizados en el polímero poliacetal blanco.

Para los accesorios se realizó una selección, adquiriéndolos en el mercado ecuatoriano, encontrándose de acuerdo a los parámetros de diseño acorde a las medidas de cada parte de los elementos del CPAP.

Fabricación

Se determina el tipo de maquinaria a utilizar, entre las que se encontraban el torno de tres ejes, centro de mecanizado torno y fresadora de 3 ejes, dobladora, taladro de banco. En el proceso de mecanizado se realiza por arranque de viruta por medio de giro de la pieza y con el uso de una herramienta de corte, esta se desplaza de manera horizontal, entra en contacto con la pieza y empieza con la eliminación del material, este proceso puede ser manual o automático siendo estos últimos programados mediante códigos.

Los acabados dependieron del material, tipo de maquinaria, herramienta, velocidad de corte, lubricación, y otros factores que inciden en los resultados. Todos estos analizados para obtener piezas con los mejores terminados.

Ensamble

Con todos los elementos ya mecanizados, el ensamble de todas las piezas y accesorios se los definió por los parámetros calculados y las herramientas para el montaje, según el manual de ensamble y los protocolos adecuados. Las herramientas para montaje se adquirieron en el mercado y se fabrica una herramienta especial para el montaje y desmontaje de dos elementos del dispositivo.

Pruebas

Para realizar las pruebas se emplearon protocolos del dispositivo original el cual incluye varias partes y mediante el banco de pruebas se obtuvo datos tanto del dispositivo original como los de prototipo mecanizado. Esta metodología tiene varias etapas las cuales debe culminarse para empezar la siguiente las cuales constan a continuación.

Resultados

Al aplicar la Ingeniería inversa del dispositivo presión positiva CPAP, se efectuó el análisis de las partes, la selección de materiales, se modelaron las partes mediante software y se rediseñaron parte de ellas.

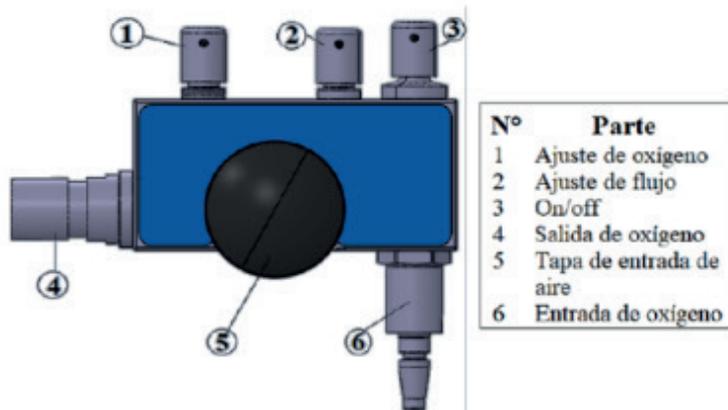
Mediante cálculos de ajustes, cálculo de resistencia, análisis de esfuerzos por medio de modelados, factor de seguridad, análisis de material, métodos de fabricación, cálculos de mecanizado, todo esto para para adaptar un dispositivo al contexto nacional.

Geometrías originales

La geometría original es parte del proyecto de UCL-Ventura, la imagen a continuación contiene las partes originales proporcionadas por los propietarios del dispositivo.

Figura 2

Dispositivo CPAP de UCL Ventura



Las especificaciones del dispositivo original se muestran:

Tabla 1

Especificaciones de CPAP

Especificación	Especificación
Rango	Rango
Dispositivo	CPAP UCL - Ventura
Dimensiones	158 x 140 x 48 mm
Peso	495 gr
Rango de operación temperatura	Temperatura: de 0 a 40 °C
Rango de operación humedad:	Humedad: de 0 a 95% RH
Presión de entrada	4 ±0.25 bar
Flujo	5.5 LPM a 60 LPM

Con el análisis y modelado se determinó que las partes que debían ser modificadas para adaptarse al contexto ecuatoriano fueron las siguientes:

Tabla 3

Partes rediseñadas

Parte	Esquema
Entrada de oxígeno	
Salida de flujo	
Cuerpo central	
Soporte	

Selección de alternativas para la entrada de oxígeno

Con todas las propuestas analizadas se procedió a realizar una selección según cuatro parámetros estos son: material, conexión, seguridad al operar y costo, permitieron seleccionar la mejor alternativa la cual fue la propuesta número 7.

Tabla 4

Selección de alternativas

Propuesta	Material	Facilidad de conexión	Seguridad	Costo	Total
1	1	1	1	0	3
2	1	1	0	1	2
3	1	1	1	0	3
4	1	0	1	1	3
5	0	1	1	1	3
6	1	0	1	1	3
7	1	1	1	1	4

Descripción de séptima propuesta

Este elemento definitivo cuenta con cinco partes, la parte número 1 es el acople este se conecta al cuerpo del CPAP, la parte dos es el conector a la manguera de oxígeno, la parte tres es el seguro que se conecta a la parte número 1, la parte 4 y 5 es el empaque y el o-ring respectivamente, que en conjunto con la parte dos funcionan de sello para el conducto ya que esta parte no es roscada.

Detalles del diseño: La primera parte se tomó del diseño original el GIN 1756 del dispositivo original y su geometría interna. Tomando en cuenta estos dos parámetros se diseñaron los elementos restantes a continuación se detalla la realización de cada parte.

Selección de alternativas para el soporte

Con todas las propuestas analizadas se realizó la selección de las alternativas tomando en cuenta cuatro parámetros estos son: material, montaje, seguridad al fijar el prototipo y costo, permitieron seleccionar la mejor alternativa la cual fue la propuesta número 4.

Tabla 5

Selección de alternativas

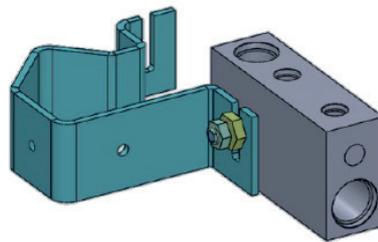
Propuesta	Material	Montaje	Fabricación en serie	Seguridad	Costo	Total
1	1	0	0	1	0	2
2	1	1	0	1	1	3
3	1	1	1	0	0	3
4	1	1	1	1	1	4

Descripción de la cuarta propuesta

Este diseño se basó en la propuesta anterior, la cual, mediante algunas mejoras consideradas, brindó todos los parámetros de seguridad requeridos.

Figura 3

Propuesta 4



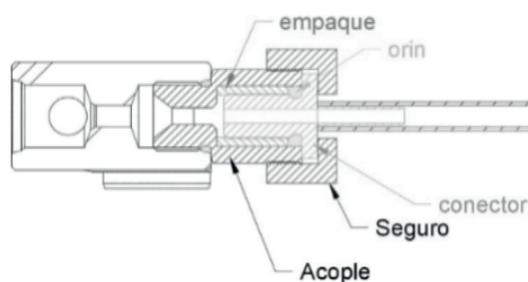
Geometrías rediseñadas

Entrada de oxígeno:

Se plantearon diseños tanto para adquirir las piezas para la conexión, como para fabricarlas, al ser una parte tan importante fue necesario un análisis exhaustivo, tanto de las configuraciones como de los diseños, así como de la funcionalidad de estos, siendo el fin de esta parte conectarse a la red hospitalaria sin inconvenientes. Entre las propuestas de encontraban la adquisición de accesorios. Por medio del análisis de algunas propuestas desarrolladas se determinó un diseño final para el prototipo que se compone del acople, el conector a la manguera de oxígeno y el seguro.

Figura 4

Esquema de diseño final



Salida de flujo:

Al igual que los demás elementos analizados este elemento cambio debido al rediseño del cuerpo central, no fue necesario un cambio en los chaflanes, redondeos y conductos internos, sino en su longitud, por esta razón y según el análisis de la investigación de análisis en CFD se determinó que no existe cambio de la cantidad de flujo, por lo que se modeló en el software.

Cuerpo central:

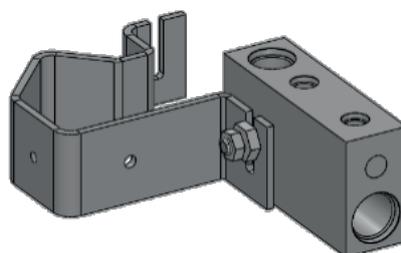
Por medio del análisis de flujo realizado en la investigación “Análisis del flujo de fluidos de un dispositivo mecánico generador de flujo de presión positiva CPAP usado como alternativa en el tratamiento de pacientes con COVID 19 mediante fluidodinámica computacional CFD” (M. Echeverri, 2011), se determinó cambios en la geometría, esto fue una reducción en la distancia longitudinal del cuerpo con ello no mostraron variaciones en la cantidad del flujo comparado al diseño original. Se mantuvieron, además, todas las demás dimensiones como: la entrada de las válvulas, entrada y salida de aire y tapón con sus respectivos chaflanes, redondeos y roscado.

Soporte:

El soporte original fue fabricado mediante inyección, sin embargo, para el presente proyecto se plantearon otras alternativas que se puedan adaptar al dispositivo, entre estas se consideraron las opciones que permitan la fabricación en serie y materiales compatibles, por ello este diseño se encuentra en el cuerpo del dispositivo y por medio de un perno pasante se conecta al soporte de tubo como se observa en la siguiente figura.

Figura 5

Diseño final



Resultados del par torsor en los elementos cpap:

Los cálculos realizados se hicieron en los elementos que tienen una rosca para acoplarse al cuerpo central, necesario para que estos no salgan de la compresión y evitar fugas, en la tabla 4, se muestran el momento torsor para colocar cada elemento:

Tabla 6

Resultados del par torsor

Elemento	Par torsor
Válvula ON OFF	5,73 Nm
Válvula de ajuste de flujo	1,1 Nm
Válvula de ajuste de oxígeno	1,1 Nm
Elemento salida de flujo	6,37 Nm
Tapón	1,08 Nm
Elemento de entrada de oxígeno	5,73 Nm
Acople de manguera	9,09 Nm

Diseño de planos:

Se realizaron planos de cada elemento del dispositivo rediseñado, esperando que este prototipo, que ya es realizable en el contexto ecuatoriano, se produzca para seguir combatiendo las deficiencias ocasionadas por la pandemia del COVID-19.

Selección de materiales

En cuanto a los materiales del dispositivo CPAP de UCL Ventura se utilizaron los siguientes:

Tabla 7

Materiales de dispositivo de CPAP UCL Ventura

Nº	Partes	Materiales
1	GIN 1794, GIN 174, GIN 1758, GIN 1759	Tecaform AH MT Black
2	GIN 1756, GIN 1736, GIN 1761, GIN 1762, GIN 1765, GIN 1766, GIN 1767, GIN 1791, GIN 1792, GIN 1768,	Acero Inoxidable 316
3	GIN 1808	Lupital F20
Accesorios		
4	BIC 0054, BIC0059, BIC 0060, BIC 0055	Acero inoxidable
5	O-Ring	Fluorcarbonato

Según los parámetros del diseño se debe seleccionar materiales que sean compatibles con la finalidad del dispositivo es decir uso medicinal, por tal motivo y con este tipo de análisis se investigó sobre la disponibilidad en el mercado ecuatoriano, entre las alternativas que se tiene en el mercado.

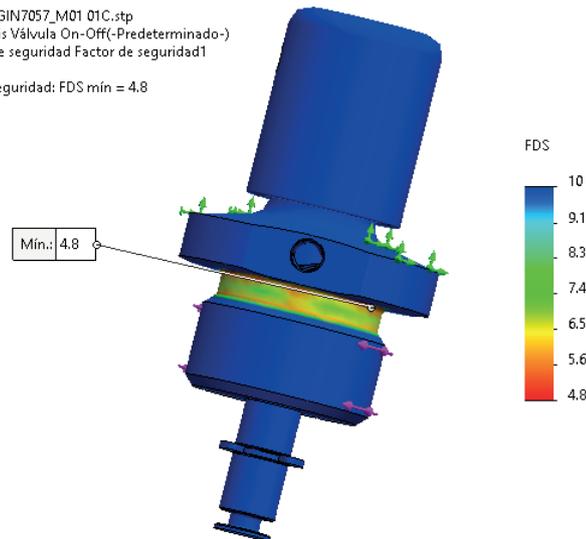
Análisis en software

Para los valores encontrados anteriormente y mediante el uso de software se encontraron resultados de tensiones (von Mises), desplazamientos y factor de seguridad en la válvula ON/OFF, para la válvula de flujo, de la válvula de oxígeno, Tapón de perforación transversal y del tapón de perforación.

Figura 6

Factor de seguridad en la válvula On/Off

Nombre del modelo: ASY_GIN7057_M01 01C.stp
Nombre de estudio: Análisis Válvula On-Off-(Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 4.8



Mecanizado

Para el proceso de mecanizado y después del modelado, se analizó las piezas en software en donde se realiza la simulación de acuerdo a la forma, material, acabado. Lo primero que se realizó fue el proceso de análisis, en el programa y seleccionar los parámetros adecuados. Primero se colocó la pieza en posición para poder formar el perfil que se va a mecanizar.

Herramientas de corte

Para obtener la mayor exactitud se seleccionó las herramientas de corte adecuadas, las cuales se encuentran normalizadas, varían según el ángulo, forma y material, en este caso se utilizó una plaquita de torneado para acero inoxidable, fueron apropiadas para controlar la fricción y el calor por el mecanizado.

seleccionadas. Y como era necesario probar los cambios realizados en los rediseños se elaboró un primer prototipo para realizar las pruebas correspondientes.

Proceso

En la siguiente tabla se mostrará el proceso de mecanizado de los elementos.

Tabla 8

Proceso de mecanizado

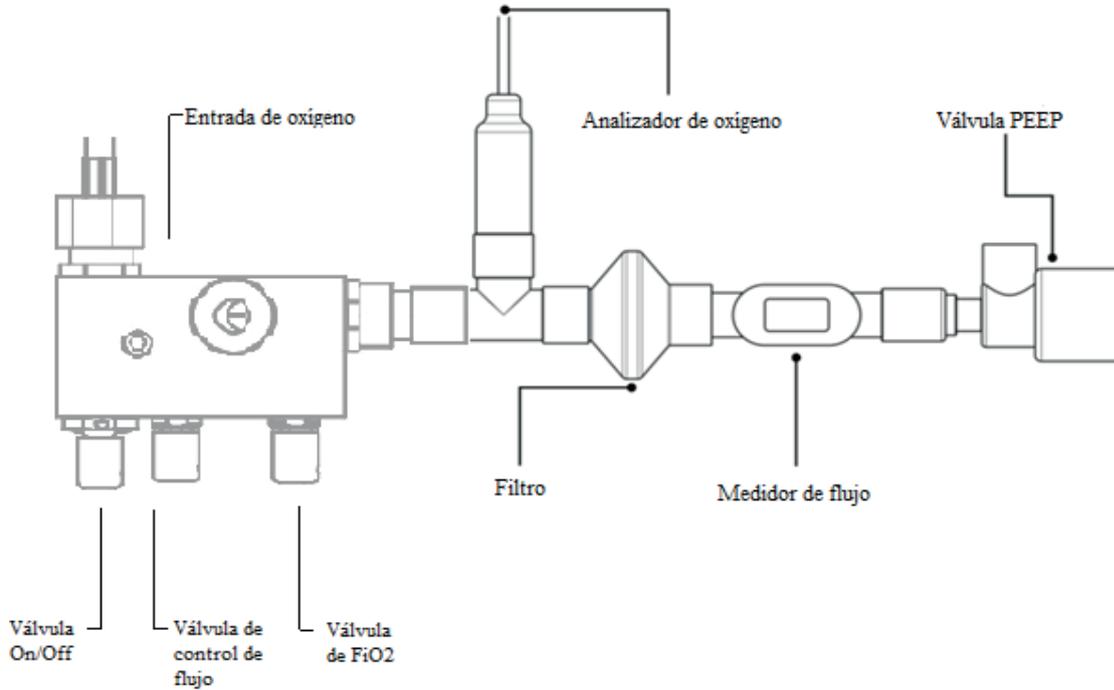
Alcance	Materiales	Proceso
Fabricación de partes	Torno y fresadora CNC	Colocar la herramienta en la torreta. Ubicación de material en bruto y centrado. Ingreso de códigos en panel de control. Posicionamiento de cero. Procesamiento de códigos y movimientos. Remoción de pieza de torno

Pruebas de funcionamiento del dispositivo CPAP rediseñado

Las pruebas de funcionamiento se realizaron por medio de un banco de pruebas, el cual se esquematiza a continuación. No se utilizó en pacientes.

Figura 7

Test en banco de pruebas



El dispositivo finalizado se muestra en la siguiente imagen.

Figura 23

Prototipo CPAP adaptado al contexto ecuatoriano



Protocolo de inspección

Para las pruebas el suministro de oxígeno debe ser de 4 bar \pm 0,25 y la válvula PEEP con 10cm H₂O. La primera prueba realizada fue para verificar el funcionamiento básico. Este protocolo permite realizar un control de calidad midiendo las características del dispositivo.

Tabla 9

Protocolo de inspección

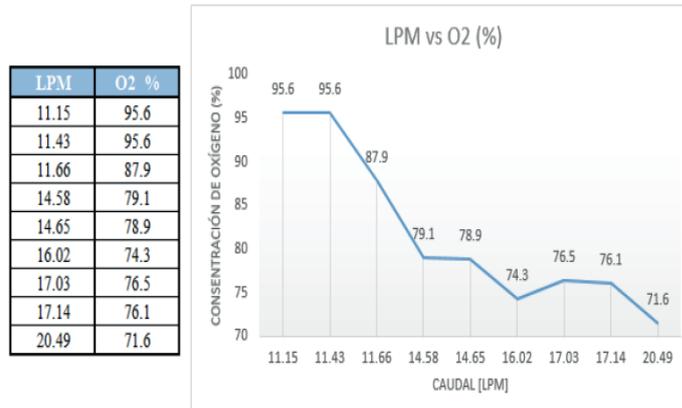
Test	Tipo de test	Válvula ON/OFF	Válvula control de flujo	Válvula control de FiO₂	Resultado óptimo
A	Ausencia de flujo	cerrada	cerrada	cerrada	Flujo < 0,3 L/min
B	Mínimo oxígeno disponible calibración flujo máximo	abierta	Cerrada	cerrada	Oxígeno < 32%
C	Mínimo oxígeno disponible a 60 L/min	abierta	60 \pm 3 L/min	cerrada	Oxígeno < 36%
D	Máximo oxígeno disponible a 30 L/min	abierta	30 \pm 3 L/min	abierta	Oxígeno > 70%
E	Fugas de flujo (purga de flujo)	cerrada	cerrada	cerrada	Flujo < 0,3 L/min

Test de rendimiento

Las pruebas realizadas brindaron datos, en donde variaba el flujo y la concentración de oxígeno. Con esto se realizó una gráfica en donde se puede

Figura 24

Curva de funcionamiento



Discusión

Como alternativa al tratamiento de COVID 19, se diseñó y construyó mediante ingeniería inversa un dispositivo mecánico ventilatorio basado en el modelo de la UCL y adaptando al contexto ecuatoriano; para garantizar la ingeniería inversa se debe mejorar o igualar las características del modelo original es así que los materiales seleccionados para su realización el A304 y POM suplen esta necesidad al ser compatibles con el tacto humano, el poliacetal resulto ser un material con un buen comportamiento en el mecanizado mientras que los elementos realizados en acero inoxidable y con detalles muy finos resultaron más complicados de mecanizar puesto que requieren tiempos más largos y condiciones herramientas específicas.

- La exploración del dispositivo CPAP original y de las fuentes bibliográficas permitieron determinar el funcionamiento del mismo, en este ingresa oxígeno con una presión de hasta 4 bares y pasa por distintas cámaras controladas por válvulas de alta precisión las cuales controlan el flujo y la fracción de aire que inspirará el paciente, así mismo y dentro del CPAP, el oxígeno pasa por un tubo hipodérmico que le genera un efecto Venturi, incrementando su velocidad y permitiendo la entrada de aire del exterior a través de un orificio diseñado para el caso. El dispositivo diseñado y construido cumple ampliamente la tarea de

pulmones y llevar el oxígeno al torrente sanguíneo del paciente.

- Tomando como base el dispositivo original de la UCL y mediante un análisis de Ingeniería Asistida por Computadora, así como la consideración de especificaciones, normas, reglamentos y materiales, se adaptó el diseño al contexto ecuatoriano diseñando válvulas, elementos de entrada y salida, roscados y tapones; realizando los principales cambios en la entrada de aire, en la longitud del cuerpo central y adaptando un soporte pasante en la sección transversal del cuerpo que permite al usuario ubicarlo con facilidad en un pedestal sin que ninguno de estos cambios afecten a la funcionalidad del prototipo.

- La construcción del prototipo permitió validar los valores obtenidos previamente en software. Una vez realizados los planos de diseño y seleccionados los materiales alternativos (A304 y POM) los cuales suplen las necesidades del dispositivo médico en el mercado nacional, se llevó a cabo la manufactura de los componentes mediante procesos de mecanizado CAM alcanzando los acabados superficiales e internos requeridos. Así también, los cálculos de par de apriete cuyos valores oscilan entre 1,08 y 9,09 N-m (dependiendo del componente) fueron necesarios para acoplar las válvulas al cuerpo central una vez estén ensamblados.

- Finalmente, mediante pruebas de campo, se concluye que el prototipo funciona bajo los parámetros esperados: no existen fugas al estar todas las válvulas cerradas y el oxígeno ingresando; el valor de FiO_2 es menor al 32% con la válvula de flujo abierta al máximo; el valor de FiO_2 es menor a 36% cuando existe un caudal de 60LPM y el valor máximo de FiO_2 con 30LPM es mayor al 70%. Estos valores dan razón al diseño realizado en software de análisis de fluidos (CFD) realizado por la investigación conjunta a la presente.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Embajada Británica en Ecuador y a la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Técnica de Ambato. Resolución UTA-CONIN-2020-0306-R

Bibliografía

A. Slutsky (2015), American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. *History of Mechanical Ventilation*, 191(10), 1106-1115.

B. Schonhofer (2010), Non- Invasive Ventilation and Weaning: Principles and Practice. *Leeds, UK Taylor & Francis Group*.

C. Naranjo (2020), Diseño de ventilador mecánico emergente en modo asistido / controlado y espontáneo por presión. *Unex* 1(1), 2-13.

J. Belda (2009), Ventilación mecánica en anestesia y cuidados intensivos. *Castello*

K. Ulrich y S. Eppinger (2004), Diseño y desarrollo de producto, 3 ed., *New York, McGraw Hill*, 304-320.

L. Ferrer (2020), Soporte respiratorio en pacientes crítico con COVID-19, *Distrinuna*.

L. Pérez (2014), Presión positiva continua en la vía aérea comparada con la respiración mecánica asistida en prematuros de 28 a 32 semanas de gestación con administración precoz de surfactante pulmonar. *Biomédica*, 34, 612-623.

M. Echeverri (2011), Diseño y fabricación de un dispositivo no invasivo para el tratamiento de la apnea del sueño, Medellín. *Universidad EAFIT*, 112-117.

M. Palacios, E. Santos, M. Velázquez y M. León (2020), COVID-19, a worldwide public health emergency, *Revista Clínica Española*, 3(10), 1-7.

N. Hill (2016), Noninvasive ventilation. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 163, 540-577.

P. Rodriguez, M. Dojat y L. Brochard (2015), Mechanical ventilation: changing Concepts. *ResearchGate*, 235-243.

R. Kacmarek (2011), The Mechanical Ventilator: Past, Present, and Future. *Respiratory Care*, 56(8), 1178-1179.

UCLI. MEDICAL, 13-18.

UCL Ventura (2020), CPAP UCL Ventura. University College de Londres 3(1), 2.

V. Pinto y S. Sharma (2021), Continuous Positive Airway Pressure. *National Library of Medicine*, 15-25.

W. James (2018), Invasive Mechanical ventilation. *Singer*, 111(12), 746-753.

**El congestionamiento vehicular, análisis y propuesta de solución:
intersección semaforizada entre avenidas américa y reales tamarindos,
Portoviejo, Ecuador**

**Vehicular congestion, analysis and solution proposal: traffic lighted
intersection between América and Reales Tamarindos avenues, Portoviejo,
Ecuador**

Jorge Gómez¹; Daniel Delgado²

¹Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador. Email: jgomez9957@utm.edu.ec

²Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador. Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Avenida José María Urbina, Portoviejo, Ecuador. Email: daniel.delgado@utm.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.31243/id.v16.2022.1732>

Resumen

Los problemas de circulación vehicular se mantienen en constante crecimiento en muchas ciudades del mundo, especialmente en Latinoamérica. La presente investigación tuvo como objetivo analizar el congestionamiento vehicular producido en la intersección semaforizada de las avenidas América y Reales Tamarindos de la ciudad de Portoviejo, Manabí-Ecuador, mediante la determinación de su nivel de servicio para identificar el grado de confort producido en sus usuarios. El proceso metodológico consistió en aforar los distintos medios de movilización en intervalos de 15 minutos y la recolección de datos geométricos de las vías que conforman la intersección, para posteriormente determinar el flujo de saturación y las demoras

Palabras clave:

Congestión vehicular, intersección semaforizada, nivel de servicio, flujo de saturación, demoras.

por carril representadas en seg/veh y clasificarla según el nivel de servicio obtenido, aplicando el procedimiento propuesto por el HCM. Mediante el análisis de resultados se generaron medidas específicas para mejorar la situación actual de la zona estudiada. Los resultados indicaron una demora general de 23.97 seg/veh, que la categorizaron con un nivel de servicio C, localizando los principales problemas en los carriles “derecho” producto de los estacionamientos permitidos.

Abstract

Traffic problems are constantly growing in many cities around the world, especially in Latin America. The objective of this research was to analyze the traffic congestion produced at the signalized intersection of the avenues America and Reales Tamarindos in the city of Portoviejo, Manabí-Ecuador, by determining its level of service to identify the degree of comfort produced by its users. The methodological process consisted of counting the different means of mobilization in 15 minutes intervals and collecting geometric data of the roads that make up the intersection, to later determine the saturation flow and delays per lane represented in sec/veh and classify it according to the level of service obtained, applying the procedure proposed by HCM. By analyzing the results, specific measures were generated to improve the current situation of the studied area. The results indicated a general delay of 23.97 sec/veh, which was categorized with a C service level, locating the main problems in the "right" lanes because of the permitted parking spaces.

Keywords:

Traffic congestion, signalized intersection, service level, saturation flow, delays.

Introducción

La movilidad vial constituye un eje fundamental en el desarrollo de las ciudades y el bienestar social de sus integrantes (Jiménez & Salas, 2017).

Con la aparición del vehículo motorizado (finales del siglo XIX), aumentó la necesidad de implementar mayores estructuras viales para mejorar el flujo vehicular, generando un aumento acelerado y sin control del parque automotor (Aznar, 1998).

A nivel mundial, muchas ciudades se enfrentan a graves problemas de transporte urbano, producto del constante crecimiento de vehículos en circulación. Un ejemplo claro se observa en la Zona Metropolitana del Valle de México, que está conformada por el Distrito Federal y 28 municipios adicionales, donde el número de vehículos rebasó más de 3'500.000 unidades en el año 2000 (Lozano et al., 2003).

En adición al elevado número de vehículos motorizados, el crecimiento urbanístico inadecuado en gran parte de Latinoamérica en donde no consideran el desarrollo sostenible de sus ciudades ha incentivado a la dependencia del vehículo privado como principal medio de movilización, debido a las grandes distancias territoriales que se deben transitar para llegar a los distintos puntos de interés (Delgado et. al, 2020, 2021), generando impactos negativos en la red vial, como la congestión vehicular y el aumento de siniestros de tránsito (Dalkmann & Sakamoto, 2011).

Las intersecciones en las vías son áreas diseñadas para que los vehículos puedan circular en diferentes sentidos, por lo que generalmente están sujetas a políticas de control de tránsito, como semáforos, señalizaciones, entre otros (Peñabaena-Niebles 2015). Particularmente, las intersecciones semaforizadas se implementan en zonas donde los movimientos conflictivos entre vehículos, peatones y ciclistas podrían generar accidentes, demoras elevadas o problemas de confort durante su circulación, como es el caso de la zona de estudio.

Para determinar el grado de satisfacción y confort que una intersección semaforizada genera en el usuario, se emplean los niveles de servicio, definidos a través de demoras expresadas en vehículos/segundos (HCM, 2000).

Portoviejo, al ser la capital de la provincia de Manabí, tiene una población aproximada de 300.000 habitantes (INEC, 2010), por lo que experimenta uno de los problemas más frecuentes de las ciudades con una elevada actividad comercial y burocrática, el congestionamiento vehicular (Gutiérrez et. al, 2020; Castillo et. al, 2020).

La carencia de estudios en intersecciones semaforizadas de gran relevancia dentro de la ciudad de Portoviejo limita la toma de decisiones para mejorar su movilidad urbana, resaltando la importancia de conocer el grado de confort que este tipo de segmento vial representa a los usuarios.

Por este motivo, el objetivo de la presente investigación será analizar el congestionamiento vehicular en la intersección semaforizada de las avenidas América y Reales Tamarindos en la ciudad de Portoviejo, Ecuador, mediante la determinación del nivel de servicio, permitiendo identificar los principales factores que influyen en esta problemática y proponer soluciones mediante medidas enfocadas en la obtención de una movilidad urbana sostenible.

Metodología

Se implementaron aforos vehiculares distribuidos en 3 días de la semana (lunes, miércoles y viernes) en fechas que no tuvieron ninguna incidencia de eventos extraordinarios que puedan sesgar los resultados de la investigación, durante las 07h00 a 19h00 en intervalos de 15 minutos y clasificados en bicicletas, motos, vehículos livianos, camiones y buses, respaldados en la metodología propuesta por Casanova & Delgado (2015), Nasareno et. al, (2020) y Gutiérrez et. al (2020). Adicionalmente, los vehículos livianos se clasificaron en placas con terminación par e impar para determinar el posible alcance de una medida a proponer.

Posteriormente, se obtuvieron las características geométricas de la intersección, mediante la medición de longitudes transversales y longitudinales, pendientes, número de carriles, identificación de zonas de estacionamientos, tipo de zona, paradas de buses, ciclos semafóricos en segundos, identificación de señalización de tránsito como zonas cebra y medidas complementarias, entre otras.

La información obtenida permitió calcular los parámetros necesarios para determinar el nivel de servicio de la intersección, los cuales se detallan a continuación:

Tasa de flujo

El cálculo del factor pico para calibrar el flujo de demanda se obtuvo de la ecuación 1, donde V_p es el caudal durante el período pico de 15 min (veh/h), V es el volumen horario (veh/h), PHF es el factor de hora pico (ecuación 2), V_{15} es el volumen máximo de 15 min durante la hora pico:

$$V_p = \frac{V}{PHF}$$

[1]

$$PHF = \frac{V}{4xV_{15}}$$

[2]

Módulo de saturación

Se obtuvo mediante la ecuación 3:

$$S = S_o N f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb}$$

[3]

Donde S es la tasa de flujo de saturación para el grupo de carriles sujeto (veh/h); S_o es el caudal de saturación de base por carril, generalmente 1.900 automóviles de pasajeros por hora por carril (pc/h/l); N es el número de carriles en el grupo de carriles; f_w es el factor de ajuste por ancho de carril; f_{HV} es el factor de ajuste para

vehículos pesados en el flujo de tráfico; f_g es el factor de ajuste por pendiente de aproximación; f_p es el factor de ajuste para la existencia de un carril de estacionamiento y actividad de estacionamiento adyacente al grupo de carriles; f_b es el factor de ajuste por efecto de bloqueo de los autobuses locales que paran dentro del área de intersección; f_a es el factor de ajuste por tipo de área; f_{LU} es el factor de ajuste para la utilización del carril; f_{LT} es el factor de ajuste para giros a la izquierda en el grupo de carriles; f_{RT} es el factor de ajuste para giros a la derecha en el grupo de carriles; f_{Lpb} es el factor de ajuste del peatón para los movimientos de giro a la izquierda; f_{Rpb} es el factor de ajuste peatón-bicicleta para giros a la derecha.

Las fórmulas para calcular los componentes del flujo de saturación se detallan a continuación (Tabla 1):

Tabla 1

Ecuaciones complementarias para determinar la tasa de flujo de saturación (S) (adaptada de Loor et. Al, 2021)

Ecuación	Simbología	Consideraciones	Ecuación N°
$f_w = 1 + \frac{(W-3.6)}{9}$	w= ancho de carril (m)	Si W > 4,8 m, se deben considerar dos carriles	[4]
$f_{HV} = \frac{100}{100 + \%HV(E_T - 1)}$	%HV= % de vehículos pesados en el volumen del carril	ET= 2 pc/HV	[5]
$f_g = 1 - \frac{\%G}{200}$	%G= % de la pendiente en grados	Valores negativos deben colocarse cuando la pendiente es cuesta abajo	[6]
$f_p = \frac{N-0.1-\frac{18Nm}{3600}}{N}$	N= número de carriles; Nm= número	Fp= 1 si no hay parqueaderos	[7]

	de maniobras de parqueo		
$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4N_B}{3600}}{N}$	N= número de carriles; Nb= número de paradas de buses por hora		[8]
$f_{a(urbano)} = 0.90$			[9]
$f_{LU} = \frac{v_g}{(v_{g1}N)}$	vg=caudal demanda no ajustada para el carril (veh/h), vg1=caudal demanda no ajustada carril con mayor volumen (veh/h),N=número de carriles		[10]
$f_{RT} = 1 - (0.15)P_{RT}$	PRT=proporción de giros a la derecha	Ecuación para carril compartido (no exclusivo para giro a la derecha)	[11]
$f_{LT} = 1.00$		Valor 1 cuando el giro a la izquierda no está permitido	[12]
$f_{LPB} =$ $1 - P_{LT}(1 - A_{pbT})(1$ $- P_{LTA})$		Valor 1 cuando el giro a la izquierda no está permitido	[13]
$f_{Rpb} =$ $1.0 - P_{RT}(1 - A_{pbT})(1 -$ $P_{RTA})$		Valor 1 cuando el giro a la izquierda no está permitido	[14]

Las ecuaciones 13 y 14 requieren factores que se derivan del flujo de peatones y bicicletas dentro de la intersección, por lo cual fue necesario realizar el siguiente procedimiento (ecuaciones 15-1 y 15-2).

$$OCC_{pedg} = \frac{V_{pedg}}{2000} (V_{pedg} \leq 1000)$$

[15-1]

$$OCC_{pedg} = 0.4 + \frac{V_{pedg}}{10000} (1000 < V_{pedg} \leq 5000)$$

[15-2]

Mediante estas ecuaciones (15-1 y 15-2) se determinó la ocupación de peatones promedio, que está condicionado por el volumen peatonal (V_{pedg}) y se calcula de la siguiente manera (ecuación 16):

$$V_{pedg} = V_{ped} * \left(\frac{C}{g_p}\right)$$

[16]

Donde C es el tiempo total del ciclo semafórico (s); G_p es el tiempo verde mínimo para los peatones (s) (ecuación 17-1 o 17-2, revisar condiciones).

$$G_p = 3.2 + \frac{L}{S_p} + \left(0.81 \frac{N_{ped}}{W_E}\right) (W_E > 3.0m)$$

[17-1]

$$G_p = 3.2 + \frac{L}{S_p} + (0.27 N_{ped}) (W_E \leq 3.0m)$$

[17-2]

Donde L es la longitud del paso de peatones (m), S_p es la velocidad media de los peatones (m/s), W_E es el ancho efectivo del paso de peatones (m), 3.2 es el tiempo (s) de puesta en marcha de peatones, N_{ped} es el número de peatones que cruzan durante un intervalo (p).

Se requirió además calcular los factores del transporte en bicicleta, iniciando con la ocupación de la bicicleta en la zona de conflicto, OCC_{bicg} (ecuación 18), donde V_{bicg} es el caudal de la bicicleta ajustado (ecuación 19), V_{bic} es el volumen de la bicicleta; C es la duración del ciclo del semáforo; g es la estimación del tiempo verde del semáforo:

$$OCC_{bicg} = 0.02 + V_{bicg}/2700$$

[18]

$$V_{bicg} = V_{bic} \left(\frac{c}{g} \right)$$

[19]

Al contar con la información de peatones y ciclistas, es posible calcular su ocupación relevante (componentes en conjunto) dentro de la intersección bajo estudio mediante la siguiente ecuación (ecuación 20):

$$OCC_r = OCC_{pedg} + OCC_{bicg} - (OCC_{pedg} * OCC_{bicg})$$

[20]

Los giros a la izquierda y derecha también influyen en las demoras dentro de las intersecciones, por lo que fue necesario adaptar los valores de la ecuación 20 mediante las siguientes ecuaciones (ecuaciones 21-1 y 21-2):

$$Apbt = 1 - OCC_r \quad (Nrec=Ngiro)$$

[21-1]

$$Apbt = 1 - 0.6 * OCC_r \quad (Nrec > Ngiro)$$

[21-2]

Donde Nrec es el número de carriles que cruzan las calles; Nturn es el número de carriles de giro.

Los factores obtenidos permiten completar las ecuaciones 13 y 14 (Tabla 1), considerando además que PRT y PLT son proporciones de giro a la derecha e izquierda respectivamente, mientras que PRTA y PLTA corresponde a la proporción de giros a la derecha e izquierda usando fase protegida, que no existen en la zona de estudio de la presente investigación.

Capacidad

Para determinar la capacidad del carril (veh/h) se aplicó la siguiente ecuación 22 (gi=g):

$$C_l = S \frac{g_l}{c}$$

[22]

Radio de flujo

Los efectos producidos por la demanda y capacidad de la intersección (radio de flujo, X_l) se calculan mediante la siguiente ecuación 23 ($V_i=V_p$; $g_i=g$; $S_i=S$):

$$X_l = \frac{V_l C}{S_l g_l}$$

[23]

Demoras

Se consideraron 3 niveles de demoras (carril, punto de aproximación e intersección general).

La demora general dentro de la intersección (d), corresponde a la demora de control por vehículos (s/veh) y considera 3 demoras distintas que surgen dentro de toda intersección semaforizada (ecuación 24):

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3$$

[24]

Donde d_1 es la demora de control uniforme asumiendo llegadas uniformes (s/veh, ecuación 25); PF es el factor de ajuste de progresión de demora uniforme (considera efectos de la progresión de la señal, ecuación 26); d_2 es la demora incremental que considera el efecto de las llegadas aleatorias y las colas de sobresaturación, ajustado según la duración del período de análisis y el tipo de control de señal (asume que no hay una cola inicial para el grupo de carriles al inicio del período de análisis, s/veh, ecuación 27); d_3 es el retraso de la cola inicial, representa el retraso de todos los vehículos en el período de análisis debido a la cola inicial al inicio del período de análisis (seg/veh). Para el presente estudio, se consideró un valor promedio de 1 seg/veh (d_3).

$$d_1 = \frac{0.5C(1-\frac{g}{C})^2}{1 - [\min(1, X)\frac{g}{C}]}$$

[25]

$$PF = \frac{(1-P)f_{PA}}{1 - (\frac{g}{C})}$$

[26]

Donde P es la proporción de vehículos que llegan en verde ($P = R_p * g/C$; R_p en tabla 2-3); f_{PA} es el factor que depende del tipo de llegada (tabla 2-3).

Tabla 2

Factores de ajuste basados en el tipo de arribo vehicular (HCM, 2010)

Factor	Tipo de arribo					
	AT 1	AT 2	AT 3	AT 4	AT 5	AT 6
fPA	1,00	0,93	1,00	1,15	1,00	1,00
Rp	0,33	0,67	1,00	1,33	1,67	2,00

$$d_2 = 900T \left[(x - 1) + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{8klx}{cT}} \right]$$

[27]

Donde T es la duración del período de análisis (h) (1/4 h); k es el factor de retardo incremental que depende de la configuración del controlador (intersecciones semaforizadas = 0.5); l es el factor de ajuste de filtrado/medición aguas arriba (ecuación 28); c es la capacidad del grupo de carriles (veh/h).

$$l = 1.0 - 0.91X_i^{2.68}$$

[28]

Tabla 3

Tipos de arribos a la intersección de acuerdo con el comportamiento del pelotón vehicular (HCM, 2010)

Tipos de arribos	Descripción
1	Pelotón denso que contiene más del 80 por ciento del volumen del grupo de carriles, llegando al inicio de la fase roja. Este AT es representativo de enlaces de red que pueden experimentar una calidad de progresión muy baja como resultado de condiciones como la optimización general de la señal de la red.
2	Pelotón moderadamente denso que llega a la mitad de la fase roja o pelotón disperso que contiene entre el 40 y el 80 por ciento del volumen del grupo de carriles y llega durante la fase roja. Este AT es representativo de una progresión desfavorable en calles de doble sentido.
3	Llegadas aleatorias en las que el pelotón principal contiene menos del 40 por ciento del volumen del grupo de carriles. Este AT es representativo de operaciones en intersecciones señalizadas aisladas y no interconectadas caracterizadas por pelotones muy dispersos. También se puede utilizar para representar una operación coordinada en la que los beneficios de la progresión son mínimos.
4	Pelotón moderadamente denso que llega a la mitad de la fase verde o pelotón disperso que contiene entre el 40 y el 80 por ciento del volumen del grupo de carriles y llega durante la fase verde. Este AT es representativo de una progresión favorable en una calle de doble sentido.
5	Pelotón denso a moderadamente denso que contiene más del 80 por ciento del volumen del grupo de carriles, llegando al inicio de la fase verde. Este AT es representativo de una calidad de progresión altamente favorable, que puede ocurrir en rutas con entradas de calles laterales

bajas a moderadas y que reciben un tratamiento de alta prioridad en el plan de sincronización de señales.

-
- 6** Este tipo de llegada está reservado para una calidad de progresión excepcional en rutas con características de progresión casi ideales. Es representativo de pelotones muy densos que avanzan sobre una serie de intersecciones estrechamente espaciadas con entradas de calles laterales mínimas o insignificantes.
-

Este procedimiento se realizó para cada carril (8 en total, que corresponde a 2 por cada punto de aproximación), por lo que posteriormente se calcularon las demoras por cada punto de aproximación (DI, en seg/veh, 4 en total) mediante la siguiente ecuación (29):

$$d_I = \frac{\sum d_A V_A}{\sum V_A}$$

[29]

Donde d_A es la demora en el grupo de carril A; V_A es la tasa de flujo en el carril A (V_p).

Después de haber calculado la demora por punto de aproximación, se procedió a calcular la demora de la intersección en general, aplicando la ecuación 29.

Los resultados obtenidos (demoras en seg/veh) permitieron identificar los niveles de servicio, aplicando los criterios mostrados en la tabla 4:

Tabla 4

Nivel de servicio en intersección semaforizada mediante la demora por vehículo (HCM, 2010)

Nivel de servicio	Demora por vehículo (s/veh)
A	<10
B	>10-20
C	>20-35
D	>35-55

Se categorizaron los niveles de servicio para cada carril, punto de aproximación e intersección en general. Mediante esta clasificación se identificaron los principales problemas que inciden en el congestionamiento vehicular de la zona de estudio, permitiendo establecer medidas específicas que mejoren la movilidad en la intersección analizada.

Resultados y discusión

Los componentes geométricos de la intersección en estudio se determinan en la Figura 1:

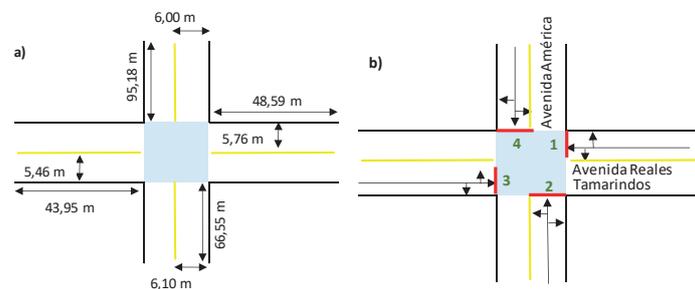


Figura 1

Datos geométricos, identificación de puntos de aproximación (a) y movimientos permitidos entre las Avenidas América y Reales Tamarindos (b).

Mediante la Figura 1a se pueden identificar 4 puntos de aproximación (representados de color rojo), los cuales se clasifican en dos carriles, izquierdo y derecho. Cada carril tiene permitido realizar los siguientes giros (Figura 2).

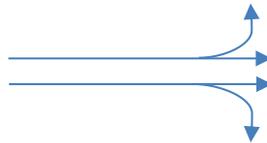


Figura 2

Determinación de grupos de carriles por puntos de aproximación.

Ambos carriles tienen permitido dos acciones: 1 giro dependiendo de su ubicación dentro del flujo vehicular (izquierda o derecha) y, la circulación frontal. A pesar de no existir señalética que permita invadir el carril adyacente, se observó que cierta cantidad de vehículos realizó este tipo de movimientos, por lo que este porcentaje ha sido considerado en sus ecuaciones correspondientes. En conjunto con los valores mostrados en la Figura 2, se determinó que la pendiente de la intersección en todos sus PA fue del 0%, encontrándose en un terreno completamente plano, siendo favorable para una mejor movilidad. Únicamente el PA 4 no tiene permitido estacionamientos en su carril derecho (en el sentido del flujo vehicular). No se identificó ninguna parada o estación de bus dentro de la zona de estudio.

La distribución semafórica correspondiente al tiempo en segundos comparte el rango total en ambas avenidas (73 seg), pero su distribución de accionar (verde, amarillo y rojo) tienen una pequeña variación, la cual se observa en la Figura 3:

América	35 s	3 s	35 s
Reales Tamarindos	30 s	3 s	40 s

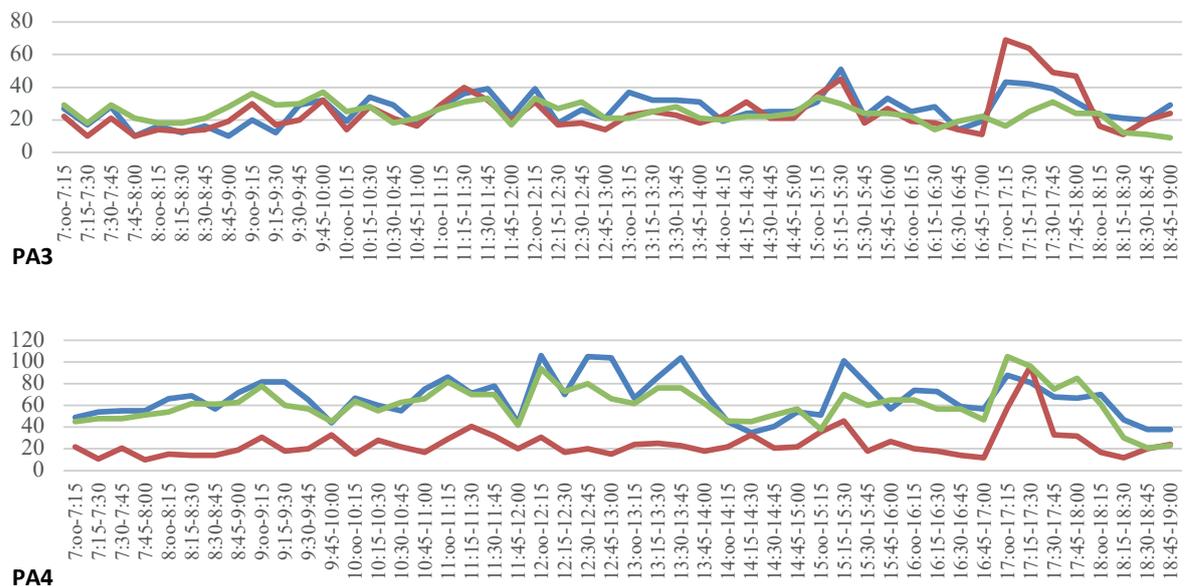


Figura 8

Distribución de vehículos livianos equivalentes en intervalos de 15 minutos para la identificación de horas pico. Eje “y” corresponde a frecuencia vehicular; eje “x” corresponde a intervalo de estudio

Mediante el análisis de la Figura 8 se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 5):

Tabla 5

Resumen de horas pico por carril (I= Izquierdo; D= Derecho) e intervalos de 15 minutos y 1 hora.

Detalle	PA 1		PA 2		PA 3		PA 4	
	I	D	I	D	I	D	I	D
H. pico / día	8:30-9:30/Lunes		17:00-18:00/Miércoles		17:00-18:00/Miércoles		17:00-18:00/Viernes	
V. Max 1	26	21	67	50	40	29	58	47
V. Max 2	25	20	84	63	37	27	53	43
V. Max 3	39	32	83	62	28	21	41	34
V. Max 4	34	27	59	45	27	20	47	38
V. hora pico	124	100	293	220	132	97	199	162
Total PA	224		513		259		361	

Figura 3

Distribución de los ciclos semafóricos en la intersección de las Avenidas América y Reales Tamarindos

La distribución semafórica (Figura 3) permitió identificar una mayor circulación dentro de la Avenida América, debido al mayor tiempo de color verde que supone una mayor demanda.

Posteriormente, mediante el análisis del tráfico dentro de la intersección bajo estudio, se determinaron los siguientes resultados (Figura 4):

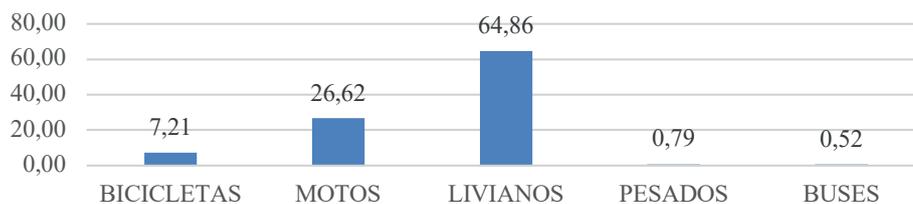


Figura 4

Composición del tránsito en la intersección por tipo de transporte.

La Figura 4 determina que el tipo de transporte que circula con mayor frecuencia dentro de la intersección es el vehículo liviano, con casi el 65% de su distribución total, mientras que los vehículos pesados y camiones, que en ecuaciones posteriores formarán el grupo único “pesados”, representó el 1.31% de la composición general.

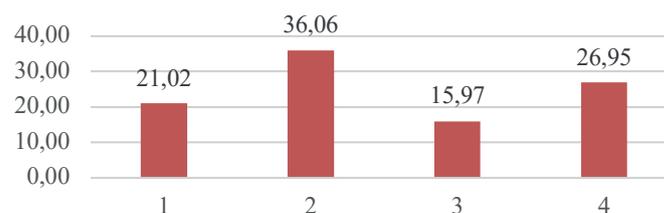


Figura 5

Distribución del transporte por PA (punto de aproximación)

El análisis de la Figura 5 determina que el PA de mayor relevancia dentro de la intersección en cuanto al flujo vehicular fue el 2, con el 36% de la distribución total del tránsito, mientras que el segundo PA con mayor peso vehicular fue el 4, con casi el 27% de la distribución del tránsito, ambos pertenecientes a la Avenida América (62.92% para esta avenida), con lo que se puede corroborar lo demostrado mediante la distribución semafórica. Para complementar la información de vehículos pesados, el porcentaje de este tipo de transporte para cada PA se distribuyó de la siguiente manera (Figura 6):

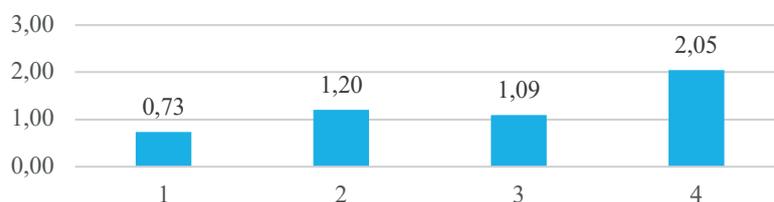


Figura 6

Distribución porcentual de vehículos pesados por PA (incluyen pesados y buses)

La Figura 6 indica que el PA 4 es el que registró mayor porcentaje de circulación de vehículos pesados dentro de la zona de estudio, factor que incide directamente en el aumento de demoras, pero al ser porcentajes muy bajos su impacto podría no ser muy relevante, lo que se corroborará más adelante.

En cuanto al análisis adicional, la distribución por último dígito de placa vehicular, que consideró únicamente a los vehículos livianos (sin incluir motocicletas), determinó que el 59.3% de vehículos motorizados estuvieron dentro del grupo impar (Fig.6).



Figura 7

Distribución de vehículos livianos por último dígito de placas

Las horas pico, al ser uno de los componentes más importantes al momento de determinar el nivel de servicio y evaluar los problemas potenciales dentro de una intersección, se clasificaron por cada PA y se distribuyeron en intervalos de 15 minutos durante los 3 días de estudio. Además, para representar correctamente el peso que cada tipo de vehículo motorizado representa en el tránsito vehicular, se transformaron los distintos tipos de vehículos a “livianos equivalentes”, aplicando los siguientes factores de conversión: 2 motocicletas = 1 vehículo liviano; 1 camión = 2 vehículos livianos; 1 bus = 2 vehículos livianos. Basados en esta conversión y para tratar un solo tipo de vehículo dentro de la intersección se obtuvieron los siguientes resultados (Figura 8):



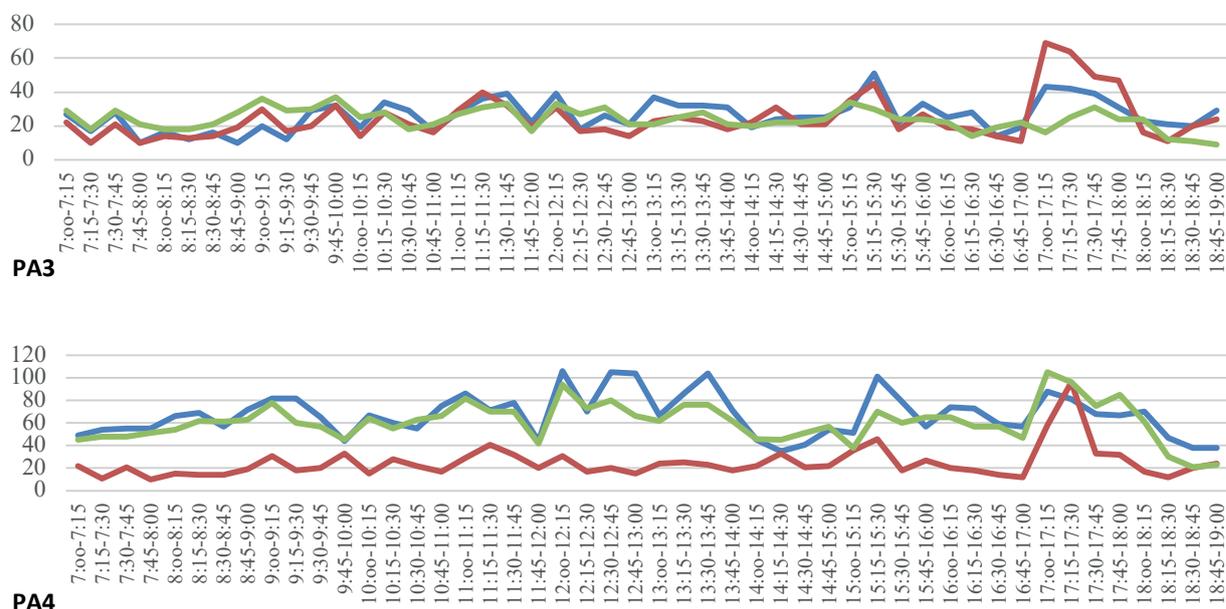


Figura 8

Distribución de vehículos livianos equivalentes en intervalos de 15 minutos para la identificación de horas pico. Eje “y” corresponde a frecuencia vehicular; eje “x” corresponde a intervalo de estudio

Mediante el análisis de la Figura 8 se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 5):

Tabla 5

Resumen de horas pico por carril (I= Izquierdo; D= Derecho) e intervalos de 15 minutos y 1 hora.

Detalle	PA 1		PA 2		PA 3		PA 4	
	I	D	I	D	I	D	I	D
H. pico / día	8:30-9:30/Lunes		17:00- 18:00/Miércoles		17:00- 18:00/Miércoles		17:00- 18:00/Viernes	
V. Max 1	26	21	67	50	40	29	58	47
V. Max 2	25	20	84	63	37	27	53	43
V. Max 3	39	32	83	62	28	21	41	34
V. Max 4	34	27	59	45	27	20	47	38
V. hora pico	124	100	293	220	132	97	199	162
Total PA	224		513		259		361	

Los resultados mostrados en la Tabla 5 se distribuyen cada 15 minutos y se representan por V.max (volumen máximo) para cada intervalo. Se puede observar que el PA2 es el que representa la mayor cantidad de vehículos en las horas pico y que en cada PA los intervalos varían en hora y día (únicamente existe similitud de horarios pico entre PA2 y PA3). Además, los carriles izquierdos de todos los PAs son los que mantienen una mayor frecuencia de circulación. Estos resultados demuestran que la dinámica del flujo vehicular no será la misma en los puntos de aproximación a pesar de encontrarse dentro de una misma intersección, debido a que las actividades cotidianas y equipamiento urbano generan una atracción de usuarios en distintos momentos de la semana y sus ubicaciones varían dentro de toda la ciudad.

Con estos resultados se han obtenido todos los componentes necesarios para el análisis del tránsito motorizado, pero hacen falta determinar los resultados de los tipos de movilización a pie y en bicicleta. Estos resultados se detallan a continuación (Tabla 6):

Tabla 6

Aforo peatonal y ciclista en la intersección estudiada en 15 minutos (obtenido en sus horas pico)

Detalle	PA 1		PA 2		PA 3		PA 4	
	I	D	I	D	I	D	I	D
Peatón	592		407		210		346	
Bicicleta	4	7	5	11	4	9	7	13

Con estos resultados (Tabla 6) se procede a calcular todos los componentes indicados en las 29 ecuaciones descritas en la presente investigación, mediante la aplicación de la metodología del HCM (2010) y se presentan en la Tabla 7:

Tabla 7

Resultados de los componentes para determinar el nivel de servicio en intersecciones semaforizadas

Parámetros	P. A. 1		P. A. 2		P. A. 3		P. A. 4		Detalle
	Izquierdo	Derecho	Izquierdo	Derecho	Izquierdo	Derecho	Izquierdo	Derecho	
PHF	0,79	0,78	0,87	0,87	0,83	0,84	0,59	0,64	
Vp	156,00	128,00	336,00	252,00	160,00	116,00	336,00	252,00	
So	1900,00	1900,00	1900,00	1900,00	1900,00	1900,00	1900,00	1900,00	
N	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
fW	0,92	0,92	0,94	0,94	0,90	0,90	0,93	0,93	
fHV	0,99	0,99	0,99	0,00	0,99	0,99	0,98	0,98	
fG	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
fP	1,00	0,85	1,00	0,85	1,00	0,85	1,00	1,00	
fBb	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
fA	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	
fLU	1,00	0,81	1,00	0,75	0,94	0,76	1,00	0,81	
fRT	0,99	0,91	0,99	0,96	0,99	0,94	0,99	0,98	
fLT	0,98	1,00	0,99	1,00	0,99	1,00	0,99	1,00	
Gp (WE>3.0 m)	15,07	15,07	12,12	12,12	8,58	8,58	10,94	10,94	
Gp diseño	15,07	15,07	12,12	12,12	8,58	8,58	10,94	10,94	
vpedg	2866,85	2866,85	2450,62	2450,62	1787,70	1787,70	2308,99	2308,99	
OCCpedg	0,69	0,69	0,65	0,65	0,58	0,58	0,63	0,63	
Rp (tabla)	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	
OCCr	0,61	0,66	0,50	0,62	0,53	0,55	0,41	0,60	Flujo de Saturación (S)
Vbicg	9,73	17,03	10,43	22,94	9,73	21,90	14,60	27,11	
OCCbicg	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	
OCCr	0,69	0,69	0,65	0,66	0,59	0,59	0,64	0,64	
Nrec	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Nturn	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
ApbT (Nrec=Ngiro)	0,31	0,31	0,35	0,34	0,41	0,41	0,36	0,36	
ApbT (Nrec>Ngiro)	0,58	0,58	0,61	0,61	0,65	0,65	0,62	0,61	
ApbT diseño	0,31	0,31	0,35	0,34	0,41	0,41	0,36	0,36	
fRPB	0,93	0,60	0,93	0,80	0,94	0,75	0,94	0,90	
fLPB	0,74	0,97	0,82	0,97	0,85	0,97	0,87	0,97	
S	1044,59	569,26	1176,82	749,58	1120,82	671,13	1244,80	1085,88	
C	429,28	233,94	564,23	359,39	460,61	275,81	596,82	520,63	Capacidad
Xi	0,36	0,55	0,69	0,70	0,35	0,42	0,56	0,48	Radio de flujo
<u>Xi diseño</u>	<u>0,36</u>	<u>0,55</u>	<u>0,69</u>	<u>0,70</u>	<u>0,35</u>	<u>0,42</u>	<u>0,56</u>	<u>0,48</u>	
d1	14,89	16,34	17,73	17,79	14,77	15,31	16,48	15,81	
Rp (tabla)	0,67								
Fpa (tabla)	0,93								
P	0,27								

<i>PF</i>	<u>1,15</u>								
<i>k (para semaforos, 0,5)</i>	<u>0,50</u>								
<i>l</i>	<u>0,94</u>	<u>0,82</u>	<u>0,66</u>	<u>0,65</u>	<u>0,95</u>	<u>0,91</u>	<u>0,80</u>	<u>0,87</u>	Demoras
<i>d2</i>	<u>2,23</u>	<u>7,35</u>	<u>4,62</u>	<u>7,23</u>	<u>1,96</u>	<u>4,25</u>	<u>3,08</u>	<u>2,79</u>	
<i>d residual</i>	<u>1,00</u>								
<i>Demora por carril</i>	<u>20,29</u>	<u>27,07</u>	<u>25,93</u>	<u>28,62</u>	<u>19,89</u>	<u>22,79</u>	<u>22,96</u>	<u>21,91</u>	
<i>Demora en aproximación</i>	<u>23,35</u>		<u>27,08</u>		<u>21,11</u>		<u>22,51</u>		
<i>Demora en intersección</i>				<u>23,97</u>					

La finalidad del cálculo de todos los parámetros mostrados en la Tabla 7 es determinar las demoras por carril, PAs e intersección en general. Se puede observar que el carril que registra la mayor demora es el carril derecho del PA2 con 28.62 seg/veh, seguido del carril derecho del PA1 con 27.07 veh/seg. En general, solo PA4 no tuvo sus mayores demoras en su carril derecho, debido a que no existen estacionamientos en este sector, por lo que se puede identificar a este componente vial como un factor determinante en las demoras producidas, incluso se obtuvieron menores demoras en PA4 con relación a PA1 a pesar de que en PA4 se registró una mayor frecuencia vehicular.

Las demoras más bajas se registraron en el PA3, debido a que tanto el flujo vehicular como el peatonal y ciclista fueron mucho más bajos con relación a los demás. El tiempo de demora dentro de la intersección en general fue de 23.97 seg/veh.

Una vez obtenidas las demoras, se determinó el nivel de servicio (Tabla 8):

Tabla 8*Niveles de servicio en intersección semaforizada*

Nivel de servicio	PA 1		PA 2		PA 3		PA 4	
	I	D	I	D	I	D	I	D
Carril	C	C	C	C	C	C	C	C
PA	C		C		C		C	
Intersección	C							

Mediante el análisis de la Tabla 8 se establece que, a pesar de haber diferencias en seg/veh dentro de los carriles y PAs, todos encajan en el nivel de servicio C. Este nivel de servicio, que está dentro de los niveles aceptados para la obtención de una movilidad urbana normal (Loor et al., 2021), es la frontera para la aparición de un nivel de servicio indeseable, con demoras muy por encima de lo permitido para un confort adecuado de los usuarios. Por este motivo, para mejorar las condiciones actuales de movilidad y hacerle frente al crecimiento acelerado del vehículo privado, se plantean las siguientes medidas de solución:

- **Programas de educación vial:** Se deberán implementar campañas para capacitar a las personas sobre la educación vial, especialmente a niños de escuela, que serán los actores principales en la obtención de una movilidad urbana sostenible. Estas campañas deberán ser periódicas e interactivas para que resulten más llamativas para los usuarios más pequeños.

- **Restricción de estacionamientos en PA1 y PA2:** Al prohibir los estacionamientos en estos dos puntos importantes de aproximación, se reducirán considerablemente los seg/veh en los carriles derechos de cada sección, mejorando la movilidad urbana. Para el PA1, la reducción de tiempo será de 3.21 seg/veh mientras que para el PA2 será de 3.67 seg/veh, consiguiendo una reducción general dentro de la intersección de 0.77 seg/veh, que en términos de tránsito es muy importante para obtener resultados positivos en la movilidad vehicular, peatonal y ciclista, a pesar de que aún se mantenga en un nivel de servicio C (Figura 9). En cuanto al PA3, que también permite estacionamientos, no se considera relevante

su prohibición, debido a que este PA es el que represente el menor flujo vehicular y, por ende, el de menor incidencia dentro de la intersección.

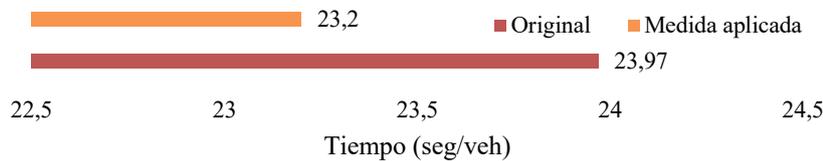


Figura 9

Comparación de demoras en la intersección general entre situación actual y aplicación de restricción de estacionamientos en PA1 y PA2.

- Restricción vehicular por placa: Esta medida, al ser considerada sumamente invasiva para los usuarios de cualquier ciudad, conseguiría una mejora sustancial en la circulación urbana. Estará destinada únicamente a los vehículos livianos privados. Debido a que casi el 60% del tránsito aforado (ver condiciones en metodología) contaba con el último dígito de placa impar, se esperaría que, en los días de restricción de este grupo de usuarios, la movilidad sería aún mucho mejor. Considerando una distribución por placa de 50% y 50% (pares e impares), la aplicación de esta medida (independiente de las medidas anteriores), representará una reducción general dentro de la intersección de 5.07 seg/veh, permitiendo categorizar a la zona de estudio en un Nivel de Servicio B, considerado óptimo para una movilidad urbana adecuada (Fig. 10). La medida podría aplicarse únicamente en los horarios comprendidos entre las 8h00-10h00, 12h00-14h00 y 16h30-18h30, que son los horarios de mayor congestión vehicular.

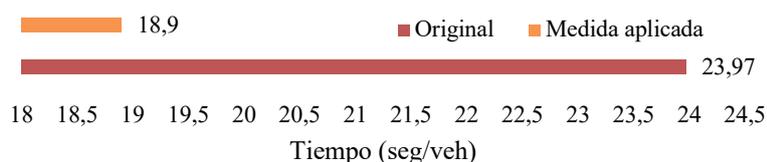


Figura 10

Comparación de demoras en la intersección general entre situación actual y aplicación de restricción de restricción vehicular por placa

- **Restricción de giros a la izquierda (aplicación a futuro):** Esta medida deberá ser aplicada únicamente cuando el nivel de servicio de la intersección alcance la categoría “D”, para permitir obtener nuevamente el grado “C”. La intersección bajo estudio alcanzaría el nivel de servicio D cuando el flujo vehicular en sus horas pico presente un incremento del 44% de su flujo vehicular o sus medidas geométricas varíen considerablemente.

- **Aplicación de sistema “carpooling”:** Esta medida consistirá en compartir vehículos con usuarios que mantengan una ruta similar de viaje, el cual puede ser incentivado mediante los programas de educación vial propuestos en secciones anteriores. Según Ogoño & Orozco (2020), las familias ecuatorianas hacen uso de 2 a 3 vehículos por hogar (dependiendo de su capacidad adquisitiva), debido a que cada integrante tiene la necesidad de desplazarse a distintos puntos de la ciudad. Si se considera únicamente (mediante la aplicación de esta medida) que el índice ocupacional de un vehículo compartido será de 2 usuarios/vehículo, se reduciría aproximadamente el 30% del flujo vehicular dentro de la intersección semaforizada, generando una reducción de 3.18 seg/veh dentro de la zona de estudio, y que, a pesar de aún mantenerse en un nivel de servicio C, está muy próximo a convertirse en B, siendo muy favorable para la movilidad urbana (Figura 11).

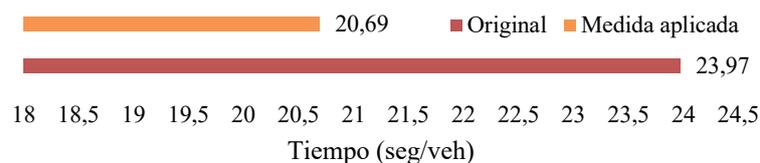


Figura 11

Comparación de demoras en la intersección general entre situación actual y aplicación de “carpooling”

Conclusiones

Las condiciones actuales de la intersección analizada la categorizaron con un nivel de Servicio “C”, con una demora general de 23.97 seg/veh, identificando al carril derecho del PA2 como la sección de mayores problemas de circulación, debido a que su demora alcanza los 28.62 seg/veh, siendo la más próxima para ser considerada con un nivel de servicio “D”. Pese a esto, la intersección aún permite un grado de confort aceptable para los usuarios que lo transitan, pero se debe mantener un control constante para que no exista degradación en este indicador de servicio.

La medida de mayor impacto en la mejora del nivel de servicio de la intersección estudiada fue la restricción vehicular por placa, pero al ser considerada muy invasiva, se recomienda su utilización únicamente cuando las demás medidas no permitan mejorar el grado de servicio de la zona de estudio. Se recomienda aplicar inmediatamente los programas de educación vial, para evitar la utilización de medidas más estrictas y que sean menos agradables para los usuarios.

Los vehículos pesados y buses no fueron considerados como medios de transporte perjudiciales dentro de la zona de estudio, debido a que, en general, representaron únicamente el 1.27% del flujo motorizado aforado.

La presente investigación puede ser replicada en demás puntos importantes dentro de cualquier ciudad del país o la región, para poder determinar el grado de satisfacción que brinda una intersección semaforizada y establecer medidas de solución específicas como las propuestas en el trabajo actual.

Bibliografía

Aznar, M. (1998). El siglo XIX el cauce de la memoria. Madrid: Istmo. [En línea] Disponible:<https://books.google.com.ec/books?id=D4sS413l8nEC&pg=PA142&lpg=PA142&dq=la+necesidad+de+crear+calles+a+finales+del+siglo+XIX&source=bl&ots=c602PHc6CM&sig=ACfU3U1Niml3Pfk4jUpzaFUz6LN3x2m4Pw&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjH1NbtzO3oAhWDneAKHYhhBqwQ6AEwAHoECAkQKw>

Casanova, G., & Delgado, D. (2015). Diagnóstico del tráfico, alternativas y soluciones al congestionamiento vehicular en la Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Manabí, Ecuador: Universidad Técnica de Manabí.

Castillo, J. I. R., Zambrano, D. A. V., Gutiérrez, D. A. D., & Hernández, E. H. O. (2020). Análisis del tránsito peatonal, alternativas y soluciones a congestionamientos en la Avenida América, entre Avenida Manabí y Calle Ramón Fernández. Portoviejo-Manabí. Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721, 5(2), 33-44.

Chiluisa, M, Jalil, J, Vallecilla, A, Delgado, D. (2020). Movilidad Urbana Sustentable: Centro Histórico de Latacunga - Ecuador, Editorial Grupo Compás, Guayaquil Ecuador, 277 pag.

Dalkmann, H., Sakamoto, K.: Transport: Investing in Energy and Resource Efficiency. UNEP, Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication, pp. 374–411 (2011)

Delgado, D., Quiroz, S., Casanova, G., Álava, M. A. C., & Silva, J. P. C. D. (2021, May). Urban Mobility Characterization and Its Application in a Mobility Plan.

Case Study: Bahía de Caráquez–Ecuador. In International Conference on Water Energy Food and Sustainability (pp. 594-604). Springer, Cham.

Delgado Gutiérrez, D. A., Cruz da Silva, J. P., Casanova Ruiz, G. J., & Ortiz Hernández, E. H. (2020). Plan de movilidad urbana y espacios públicos sostenibles. Caso de estudio Bahía de Caráquez.

Gutiérrez, D. A. D., Hernández, L. L. L., Suarez, W. J. P., & Hernández, E. H. O. (2020). Análisis del tránsito vehicular, alternativas y soluciones a congestionamientos en la Avenida América, entre avenida Manabí y calle Ramón Fernández-Portoviejo-Manabí. Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721, 5(2), 11-23.

HCM (2000) Highway Capacity Manual 2000, Washington D.C.: Transportation Research Board, National Research Council.

INEC. (2010). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - Ecuador.

Jiménez Serpa, J. C., & Salas Rondón, M. H. (2017). Aplicación de modelos econométricos para estimar la aceptabilidad de una tasa por congestión vehicular. Inge Cuc.

Lozano, A., Torres, V., & Antún, J. P. (2003). Tráfico vehicular en zonas urbanas. Ciencias, (070).

Nasareno, E. R. C., Macías, K. G. Á., Gutiérrez, D. A. D., & Hernández, E. H. O. (2020). Caracterización de la movilidad vehicular y peatonal en la Universidad Técnica de Manabí. Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721, 5(2), 64-75.

Ogoño Aguiñaca, J. R., & Orozco Calva, L. F. (2020). Análisis del tránsito vehicular en las intersecciones viales en el centro histórico de la ciudad de Loja, determinando el nivel de servicio (Bachelor's thesis).

Peñabaena-Niebles, R. (2015). Impact of transition between signal timing plans in social cost based in delay, fuel consumption and air emissions. *Transportation Research Part D, Transport and Environment*, Volume 41, December 2015, p.445-456.

Loor, J., Hernández, E. O., & Delgado, D. (2021). Análisis del nivel de servicio en la intersección de las avenidas Manabí y América, Portoviejo, Ecuador. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT* ISSN: 2588-0721, 6(2), 29-42.

Nuevos desarrollos para reducir la emisión acústica del ferrocarril

Reducing noise emission of suburban railways

Ernesto García-Vadillo¹; Rakel Robles-Ampudia²; Olatz Oyarzabal³; Javier Astarloa⁴

¹Escuela de Ingeniería de Bilbao, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Departamento de Ingeniería Mecánica, Bilbao-España. Email: ernesto.garciavadillo@ehu.eus

²Escuela de Ingeniería de Bilbao, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Departamento de Ingeniería Mecánica, Bilbao-España. Email: rakel.robles@ehu.eus

³Escuela de Ingeniería de Bilbao, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Departamento de Ingeniería Mecánica, Bilbao-España. Email: olatz.oyarzabal@ehu.eus

⁴Euskal Trenbide Sarea – Red Ferroviaria Vasca, Bilbao-España. Email: jastarloa@ets-rfv.eus

DOI: <https://doi.org/10.31243/id.v16.2022.1802>

Resumen

En el presente artículo se abordan de una manera accesible los últimos avances encaminados a reducir el ruido ferroviario. Tras una descripción introductoria de las principales fuentes de ruido de los vehículos ferroviarios, se muestra la gran inversión investigadora que se está realizando en Europa para controlar y reducir ese ruido, indicando los principales proyectos de investigación en curso, especialmente a través de la iniciativa Público-Privada Shift2Rail. El artículo se concentra en dos aspectos: el ruido de rodadura y su relación con la condición superficial del carril y el chirrido producido en las curvas y su control. El artículo

muestra los resultados de un nuevo diseño de vía en placa, orientado a una fácil reparación en caso de que la placa sea dañada por circunstancias diversas (efectos sísmicos, inundaciones, etc.) y basada en el apoyo continuo de carril, de manera que se suprima la frecuencia y el modo natural de pinned-pinned.

Palabras clave:

Ruido ferrocarril, rodadura, squeal

Abstract

This article addresses in an accessible way the latest advances aimed at reducing railway noise. After an introductory description of the main sources of noise in railway vehicles, the paper describes the great research investment that is being made in Europe to control and reduce this noise, indicating the main research projects in progress, especially through the Public-Private Initiative Shift2Rail. The article focuses on two main aspects: rolling noise and its relationship with rails surface condition and the squealing noise produced in sharp curves and its control. The article also shows the results of a new slab track design, aimed at an easy repair in case the slab is damaged by various circumstances (seismic effects, floods, etc.) and based on continuous rail support, so that the pinned-pinned natural frequency and mode are suppressed.

Keywords:

Railway noise, rolling noise, squealing noise

Introducción

La disminución de los niveles de ruido ambiental se ha convertido, en nuestros días, en uno de los grandes retos de la ingeniería de diseño. El desarrollo y progreso de los países lleva a que temas no vitales pasen a un primer plano, y esto es lo que ha sucedido con la sensibilidad hacia el ruido. De entre todas las fuentes de ruido, destacan por su importancia las relacionadas con el transporte, entre las cuales se incluye la producida por los ferrocarriles.

Al igual que sucede en los aviones y en los vehículos de carretera, también en los vehículos de ferrocarril se estudia por separado el problema del ruido emitido desde los propios vehículos ferroviarios hacia el exterior, y el problema del ruido en el interior del vehículo. Para el estudio del ruido emitido al exterior se consideran las fuentes de ruido de esos vehículos ferroviarios como si estuvieran asociadas a la trayectoria que siguen por la vía. Algo semejante sucede con el ruido medioambiental del tráfico de carretera y con el tráfico urbano en el interior de ciudades, para cuyo estudio se asocia la emisión sonora a la calle, carretera, autovía o autopista. Igualmente, con el ruido de aviones y helicópteros la emisión se asocia a la trayectoria que siguen por el aire.

Por otra parte, con una metodología diferente, se estudia el ruido que las fuentes acústicas de esos vehículos transmiten al interior de ellos mismos y soportan los pasajeros.

En el caso del ferrocarril, las principales fuentes de ruido que deben considerarse son:

- 1.- La debida a la rodadura, de ruedas de acero sobre carril de acero.
- 2.- La debida a los impactos que las ruedas producen a su paso por juntas de carril -donde no han sido reemplazadas por el carril continuo soldado-, así como a los impactos debidos al paso por cruzamientos en desvíos, travesías, escapes y bretelles.
- 3.- La producida por la mayoría de los vehículos ferroviarios cuando se inscriben en curvas de radio reducido o cuando, al paso por desvíos de maniobras, toman la rama desviada. Este ruido, semejante a un chirrido, es designado por su denominación inglesa "squeal".
- 4.- El ruido aerodinámico, que únicamente presenta importancia para velocidades suficientemente elevadas.
- 5.- El ruido debido a la tracción, sea diésel o eléctrica.

Existen otras fuentes de ruido del ferrocarril, también de importancia, pero cuya relación con el vehículo es indirecta:

6.- La debida al paso de los trenes por puentes, dando lugar a que el conjunto de la estructura del puente se excite e irradie ruido al entorno.

7.- Las señales acústicas producidas por el propio tren, que en determinadas líneas no pueden omitirse por razones de seguridad, o bien las producidas por los avisadores acústicos de los pasos a nivel con barrera. En este último caso, la responsabilidad de ese ruido es una responsabilidad compartida entre carretera y ferrocarril.

8.- El ruido producido en el entorno de las estaciones de clasificación durante las operaciones necesarias para la propia clasificación de los trenes de mercancías, así como el ruido producido por las maniobras en las estaciones de viajeros. En este último caso se incluye el ruido producido por la megafonía de anuncio de trenes.

9.- El ruido producido por los trenes especiales -dresinas, bateadoras, amoladoras de carril, etc.- durante las operaciones de mantenimiento de la vía. Este ruido tiene el agravante de ser producido, casi siempre, durante el periodo nocturno.

De todos los ruidos anteriores, los más puramente mecánicos son los relacionados con la rodadura y con el squeal y será en ellos en los que se centre este trabajo.

Progresos en Europa en la supresión del ruido ferroviario

La investigación en contaminación por ruido y vibraciones del ferrocarril comenzó en Europa a finales de la década de los 70, mediante la cooperación de los miembros de la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC) a través de su oficina de Ensayos y Experimentación (ORE), bajo la denominada Cuestión C163. Estos trabajos de investigación se prolongaron durante muchos años alrededor del

En los años siguientes se completaron una serie de proyectos de investigación, sobre ruido en el ferrocarril, entre los que cabe destacar SILENT TRACK y SILENT FREIGHT, orientados al desarrollo conceptual de soluciones ferroviarias más silenciosas; METARAIL, centrado en las normativas de medición de ruido y monitorización, COST BENEFIT ANÁLISIS, para optimizar las actuaciones dirigidas a la reducción de ruido y EUROSABOT, dirigido al desarrollo de zapatas sobre la base de los sistemas actuales de frenado.

Dentro del V Programa Marco de Investigación de la Unión Europea (UE) se desarrollaron los proyectos STAIRRS (Strategies and Tools to Assess and Implement Noise Reducing Measures for Railway Systems) que concluyó a finales de 2002; RENVIB, orientado al desarrollo de modelos de predicción de vibración y a las actuaciones para la disminución de vibraciones; HARMONOISE, encaminado al desarrollo de un modelo de predicción de ruido ferroviario de aplicación en la Unión Europea y terminado a finales de 2004; e IMAGINE, comenzado en 2005. Estos últimos proyectos no son específicos del ruido ferroviario, y abarcan disciplinas más amplias como la propagación de ruido medioambiental, la realización de mapas de ruido y la ordenación del territorio. Bajo el VI Programa Marco de Investigación de la UE se comenzaron los proyectos SILENCE y QCity, que abarcan el ruido de todos los medios de transporte terrestre, y se centran en los entornos urbanos.

Además, el VI Programa Marco promovió el proyecto URBANTRACK, centrado en la vía urbana para tranvías y trenes ligeros, incluyendo su baja emisión sonora y CALM II (Advanced Noise Reduction Systems). Dentro de este mismo VI Programa Marco se constituyó EURNEX, cuyo Polo 7º está dedicado a medioambiente y ferrocarril incluye temas de ruido, compartidos con los Polos 3º y 6º dedicados respectivamente al vehículo ferroviario y a la infraestructura ferroviaria (incluyendo ambos aspectos de la emisión acústica).

Dentro de los Proyectos del VII Programa Marco de Investigación destacaron: RIVAS (Railway Induced Vibration Abatement Solutions) hasta 2013; ACOUTRAIN, encaminado a simplificar y mejorar el proceso de certificación acústica del nuevo material rodante, en particular en relación con las

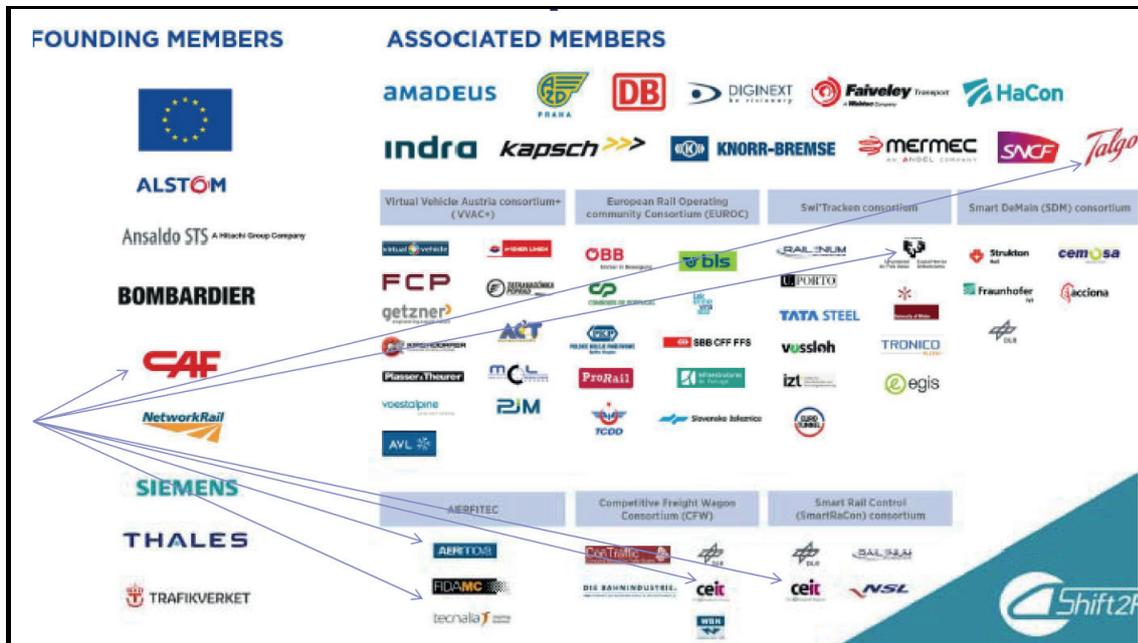
Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad; y QUIESST (QUIetening the Environment for a Sustainable Surface Transport) muy centrado en las barreras acústicas, y encaminado tanto a transporte de carretera como a transporte de ferrocarril.

El Grupo de Trabajo europeo en Ruido de Ferrocarril, cuyas tareas habían comenzado ya a finales de 1999, planteó el problema de la interoperabilidad en lo que respecta a ruido emitido por los vehículos, así como la creación de unas tarifas por uso de la vía en relación con el ruido emitido.

La UIC, a la vista de la Directiva Europea sobre ruido medioambiental en vigor desde 2002, creó la “UIC Noise Creation Standard”, que planteaba los límites de los niveles de ruido a 25 m del plano medio de vía, en función del tipo de vehículo y su velocidad.

Desde 2015 hasta 2024 la Joint Undertaking Shift2Rail es la iniciativa Público-Privada que, con el soporte de la Comisión Europea, canaliza la práctica totalidad de la investigación en materia ferroviaria en Europa. Su estructura se muestra en la Figura 1 en la que las flechas señalan los miembros vinculados al País Vasco.

Figura 1. Estructura de Shift2Rail



Fuente: Página web de Shift2Rail.org.

Esta iniciativa de investigación ferroviaria incluye entre sus Cross-Cutting Activities, dentro del Programa de Innovación nº 5, correspondiente a Energía y Sostenibilidad, la subárea 5.2 titulada Ruido y vibración.

En este marco destacan los siguientes proyectos que se han realizado y se están realizando en la actualidad, accesibles en la referencia de Shift2Rail (2021):

- DESTINATE, “Decision supporting tools for implementation of cost-efficient railway noise abatement measures” (2016-2018), Open Call liderado por la Universidad Técnica de Berlín.
- FINE-1: “Future Improvement for Energy and Noise” (2016-2019), Call for Members liderada por Bombardier Transportation GMBH
- FINE-2: “Furthering Improvements in Integrated Mobility Management (I2M), Noise and Vibration, and Energy in Shift2Rail” (2019-2022), Call for Members liderada por la empresa Thales
- TRANSIT: “TRAIIn pass-by Noise Source characterIsation and separation Tools for cost-effective vehicle certification” (2019-2022) - Open Call

paralela a FINE-1 y -2, liderada por la Universidad de Southampton, ISVR.

Esta iniciativa público privada se enmarcaba dentro del Programa Marco de Investigación “Horizonte 2020”, el cual ha llegado a su término y ahora será relevado por el Programa Marco de Investigación “Horizonte Europa”, cuyo presupuesto para el periodo 2021-2027 asciende a 100.000 millones de euros (117.000 millones de USD), dedicados únicamente a investigación. Y dentro de este Programa Marco comenzará la nueva iniciativa Público-Privada de investigación Ferroviaria llamada “European Rail Joint Undertaking”, cuyo presupuesto total es de 1.212 millones de euros (1.418 millones de USD), con una cofinanciación de 600 millones de euros de la Unión Europea.

Fruto de las investigaciones de todos estos años son las Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad, que en lo que respecta al ruido ferroviario se concreta en la *Especificación técnica de interoperabilidad aplicable al subsistema «material rodante, locomotoras y material rodante de viajeros»*, y que concreta los límites de emisión que no deben superar los vehículos ferroviarios como se puede ver en el correspondiente documento Unión Europea (2014).

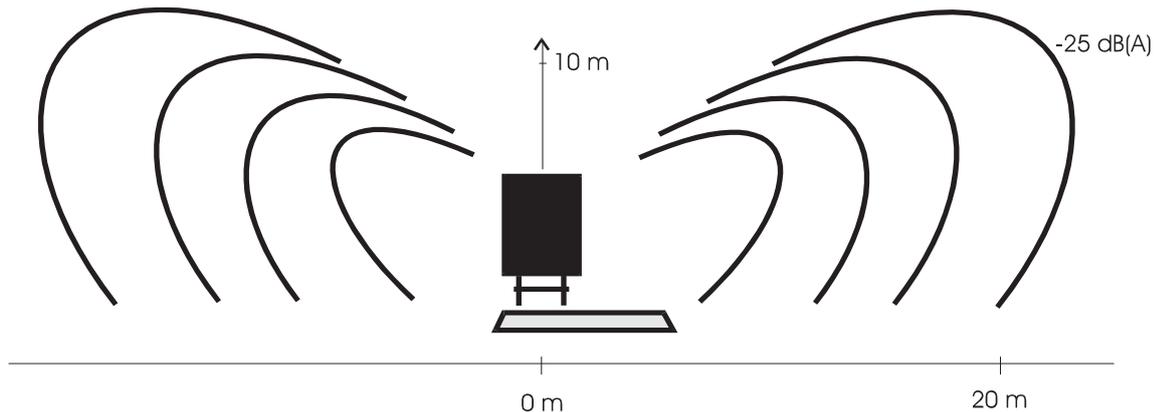
Igualmente, debe destacarse el procedimiento común en Europa para computar el ruido medioambiental de todas las fuentes principales, incluyendo el ruido ferroviario, publicado por Stylianos Kephelopoulos, Marco Paviotti y Fabienne Anfosso-Lédée (2012), y el libro blanco sobre ruido que ha publicado el Grupo de Trabajo de Interacción Rueda-Carril de la UIC, como UIC Rail System Department (2020)

Ruido normal de rodadura y control del desgaste ondulatorio

En general, la propagación medioambiental del ruido del ferrocarril a velocidades convencionales se produce fundamentalmente en la dirección perpendicular a la vía y horizontalmente, como se indica en la Figura 2. En ella puede apreciarse que la propagación en el eje vertical es muy reducida. Esto se debe a que las

fuentes fundamentales de emisión de ruido son las ruedas rodando sobre el carril, las cuales se comportan como un dipolo en cada eje montado.

Figura 2. Propagación medioambiental del ruido ferroviario.



Fuente: *Elaboración propia.*

Además, a velocidades convencionales, en las que el ruido aerodinámico no es relevante, la caja del vehículo proporciona un cierto apantallamiento frente a la propagación vertical.

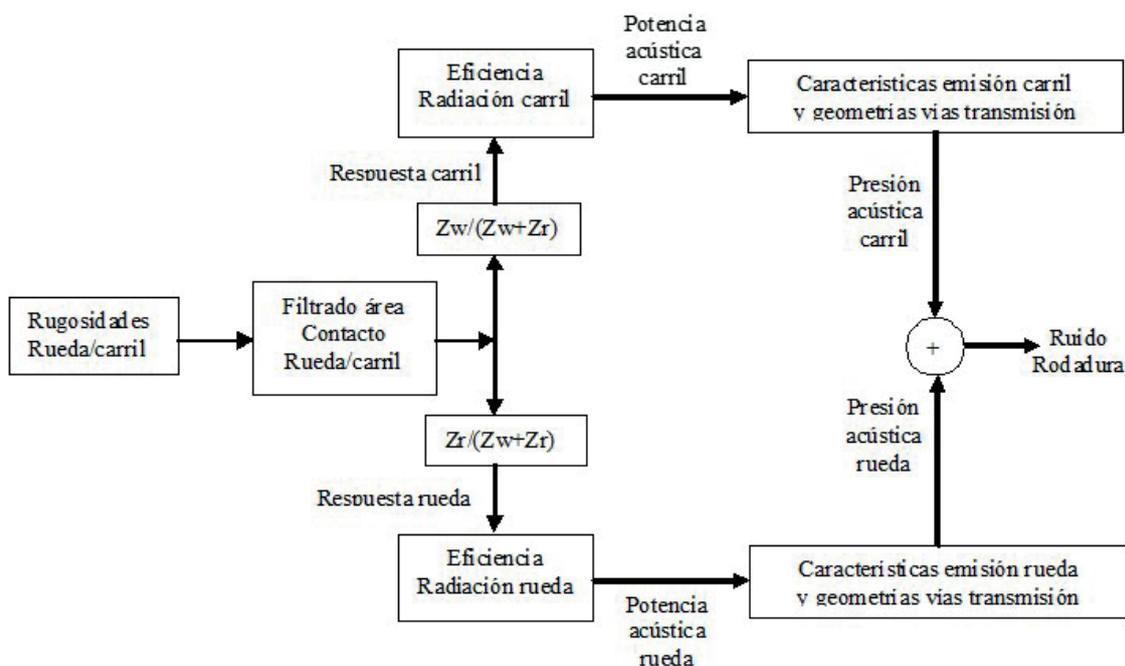
Se suele admitir que el nivel de presión sonora de este ruido de rodadura, L_p expresado en decibelios, aumenta con la velocidad V aproximadamente según la fórmula (1).

$$L_p = L_{p_0} + 30 \log_{10} (V / V_0) \quad (1)$$

en la que L_{p_0} es el nivel de ruido a la velocidad V_0 .

El ruido producido por la rodadura se debe a una serie de factores que, actualmente, se conocen con una cierta precisión. De los varios modelos desarrollados, el más completo se debe a Thompson (2009), quien, sobre la base del modelo previo de Remington, confeccionó un paquete informático denominado TWINS (Track-Wheel Interaction Noise Software). El esquema básico de este tipo de modelos se muestra en la Figura 3.

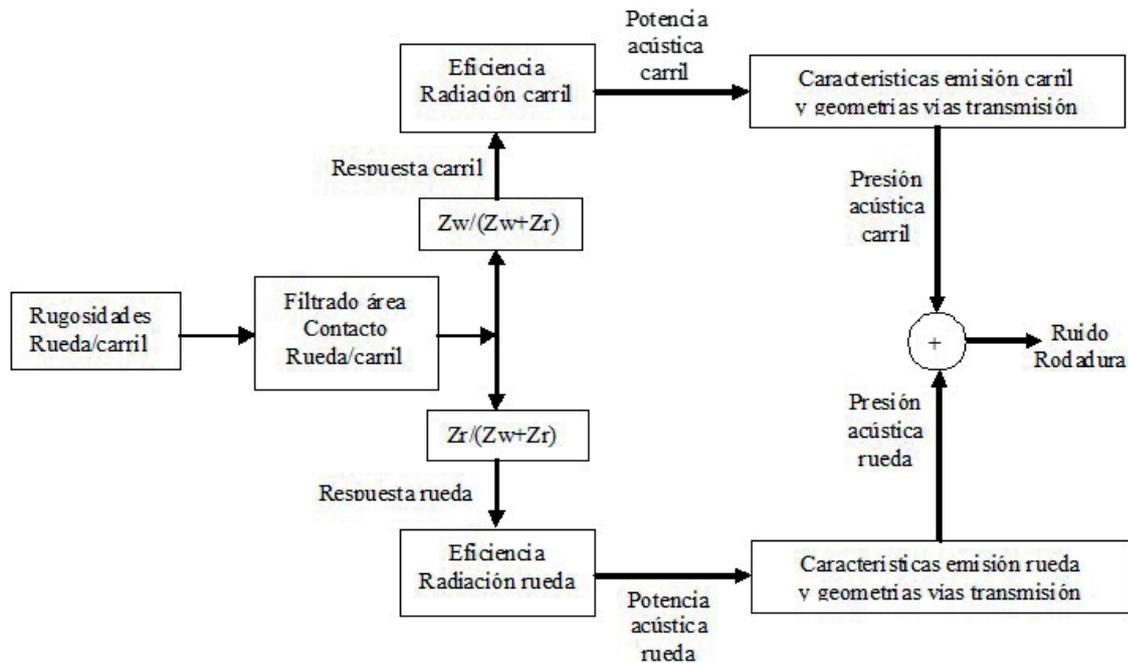
Figura 3. Modelo para el estudio del ruido de rodadura.



Fuente: *Elaboración propia.*

En todos los casos la causa fundamental de este ruido es la rugosidad superficial de ruedas y carriles. Dicha rugosidad da lugar a la imposición de unos desplazamientos relativos entre rueda y carril, que provocan fuerzas de interacción dinámica de alta frecuencia. En el caso de carriles, esa rugosidad puede adoptar una forma ondulatoria cuya amplitud puede llegar, en casos límites, a valores pico-pico de hasta 0,1 mm. Se trata, en esos casos, de un problema típico conocido con el nombre de desgaste ondulatorio o corrugación. La fotografía siguiente (Figura 4), correspondiente a una línea del Norte de España, muestra uno de esos casos, pudiendo apreciarse el mal estado superficial en la cabeza del carril.

Figura 3. Modelo para el estudio del ruido de rodadura.



Fuente: *Elaboración propia.*

En todos los casos la causa fundamental de este ruido es la rugosidad superficial de ruedas y carriles. Dicha rugosidad da lugar a la imposición de unos desplazamientos relativos entre rueda y carril, que provocan fuerzas de interacción dinámica de alta frecuencia. En el caso de carriles, esa rugosidad puede adoptar una forma ondulatoria cuya amplitud puede llegar, en casos límites, a valores pico-pico de hasta 0,1 mm. Se trata, en esos casos, de un problema típico conocido con el nombre de desgaste ondulatorio o corrugación. La fotografía siguiente (Figura 4), correspondiente a una línea del Norte de España, muestra uno de esos casos, pudiendo apreciarse el mal estado superficial en la cabeza del carril.

Figura 4. Ejemplo de corrugación.



Fuente: *Elaboración propia.*

El control de este desgaste ondulatorio lo realizamos mediante sistemas que han evolucionado con los años, y en la actualidad empleamos una regla R2S del fabricante húngaro Metalelektro, mostrada en la Figura 5.

Figura 5. Sistema de medida de corrugación utilizado actualmente en la UPV/EHU de Bilbao.

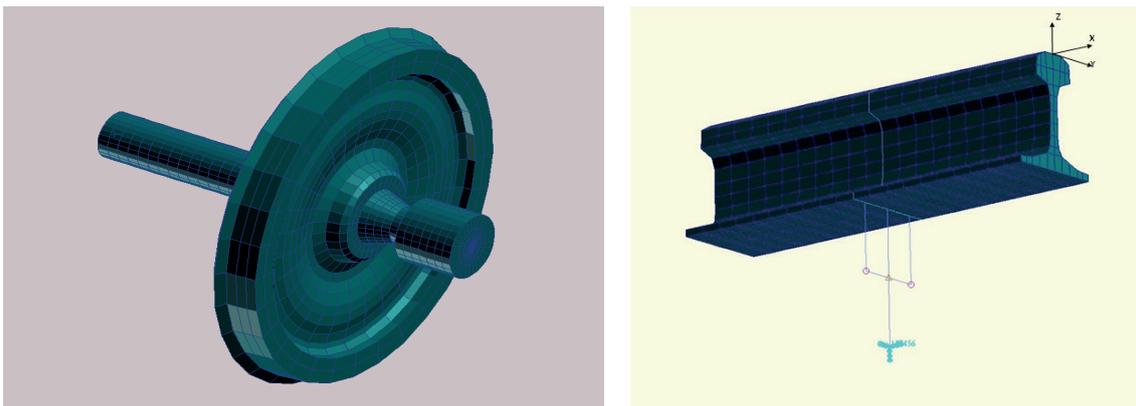


En general, este tipo de desgaste puede apreciarse a simple vista a pesar de que, en ocasiones, su profundidad es del orden de las centésimas de milímetro, como los autores tienen comprobado desde antiguo y puede verse en Vadillo et al (1998). Para poder detectarlo visualmente es preciso encontrar la adecuada orientación de la luz solar. Los autores de este artículo han desarrollado modelos que trabajan en el dominio de la frecuencia y modelos que trabajan en el dominio del tiempo. Un ejemplo de los primeros es el mostrado en I. Gómez, E. G. Vadillo, J. Santamaría (2006). Mientras que una descripción de los modelos que han desarrollado en el dominio del tiempo o del espacio se ha publicado en N. Correa, E.G.Vadillo, J. Santamaria, J. Herreros. (2016).

La modelización de ruedas o ejes montados y de carril mediante el Método de los Elementos Finitos (MEF) se muestran en la Figura 6, y permiten conocer las funciones de respuesta en frecuencia, o receptancias, de ruedas y vía. Dichas receptancias se definen como la relación entre el desplazamiento de la vibración

y la fuerza de excitación, para cada valor de la frecuencia. Se obtienen tanto de forma teórica mediante el MEF como de forma experimental.

Figura 6. Uno de los *modelos de elementos finitos de rueda y vía utilizados en la UPV/EHU.*



Pero mientras que la rueda es de dimensión finita, y por tanto tiene resonancias, en el caso del carril sólo aparecen resonancias a baja frecuencia. Para frecuencias superiores, debido a la longitud infinita del carril, éste se comporta propagando longitudinalmente las ondas estructurales, que a bajas frecuencias son: de flexión vertical; de flexión lateral; de torsión; longitudinal y de flexión del alma.

Las figuras 7 a 9 muestran las 6 primeras ondas para el carril, mientras que la Figura 10 muestra la receptancia vertical en el centro del vano (izquierda) y sobre la durmiente (derecha) de un tipo específico de vía en placa STEDEF, específicamente empleada por la UPV/EHU para calibrar el modelo y compararlo con resultados experimentales.

Figura 7. Onda n° 1, de elongación (izquierda) y onda n° 2 de torsión (derecha).

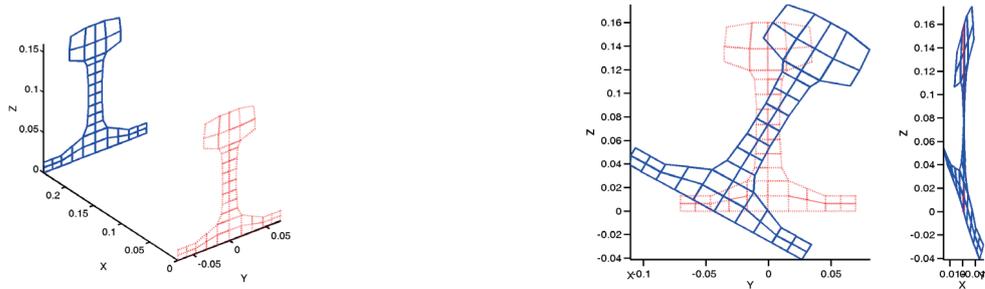


Figura 8. Onda n° 3, vertical de decaimiento (izquierda) y onda n° 4 vertical de propagación (derecha).

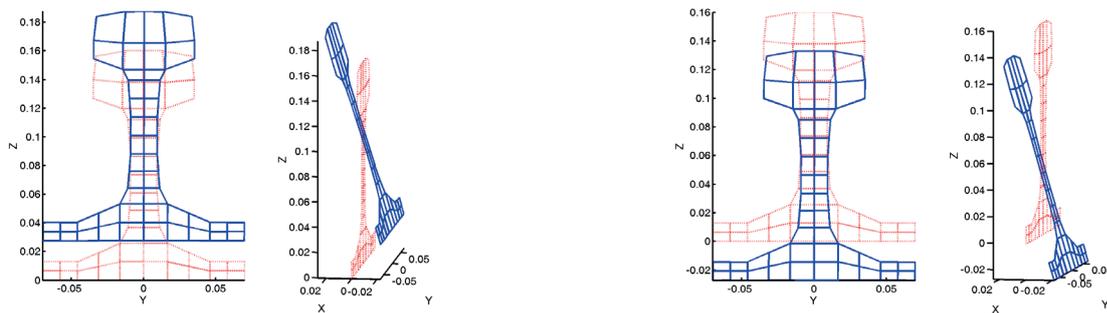


Figura 9. Onda n° 5, lateral de decaimiento (izquierda) y onda n° 6 lateral de propagación (derecha).

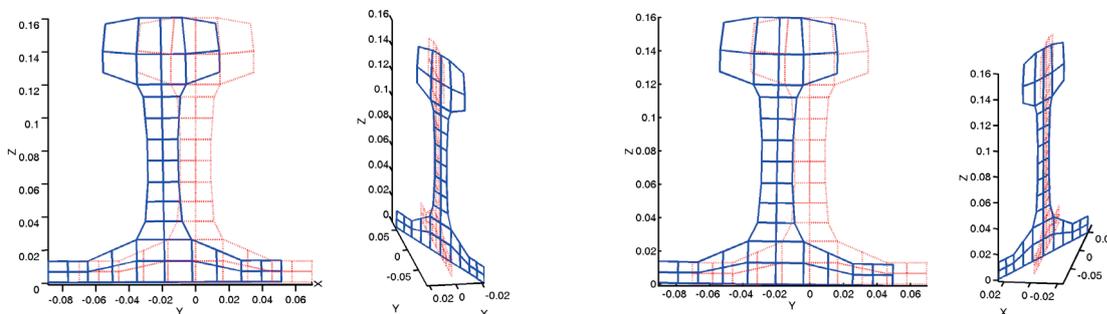
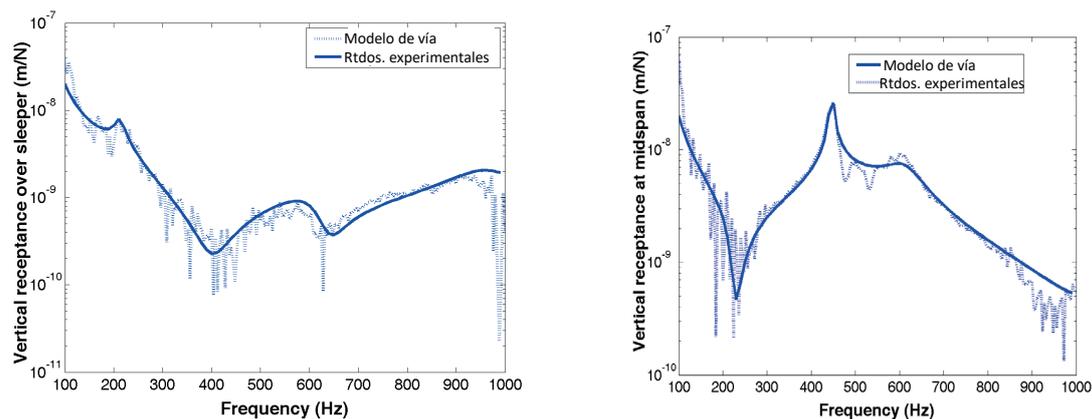


Figura 10. Receptancia vertical en el centro del vano (izquierda) y sobre la durmiente (derecha), comparando resultados teóricos y experimentales obtenidos en la UPV/EHU.



Algunos de estos modelos han permitido poner a punto un método que realiza una optimización de los parámetros de la vía (separación entre durmientes; masa de la durmiente; rigidez vertical de las placas elásticas de asiento; etc) todavía en fase de diseño, con vistas a minimizar la tendencia a la corrugación como se describe en Oyarzabal, Gómez, Santamaría G. Vadillo (2009). En estos estudios se tiene en cuenta la dispersión física de los parámetros dinámicos de la vía. Se debe subrayar que los diferentes tipos constructivos de vía (balasto, en placa STEDEF, Rheda 2000, etc) pueden tener comportamientos muy distintos de cara a la aparición de corrugación, tanto en velocidad convencional -como puede verse por ejemplo en O. Oyarzabal, N. Correa, E. G. Vadillo, J. Santamaría, J. Gómez (2011)- como en alta velocidad -como puede verse por ejemplo en N. Correa, O. Oyarzabal, E. G. Vadillo, J. Santamaría, J. Gómez (2011).

Ruido anómalo de rodadura: squeal

El problema del squeal se presenta en algunos vehículos ferroviarios durante su inscripción en curvas cerradas, y consiste en la emisión de un ruido muy agudo, generalmente por encima de los 3.000 Hz, que se mantiene durante un cierto tiempo.

En ocasiones, el origen del problema ha sido atribuido erróneamente a un doble punto de contacto entre alguna de las ruedas que circulan sobre el carril exterior a la curva y dicho carril. En esas condiciones, uno de los puntos de contacto hubiera sido un punto de rodadura y el otro un punto de deslizamiento, dando lugar a la consiguiente fricción, y por tanto al chirrido. Esta es una situación que siempre ha de evitarse, como muestra Santamaría (2009), también por el desgaste anómalo que origina. Bajo esa hipótesis el ruido hubiera tenido que proceder del carril exterior a la curva. No es fácil apreciar la procedencia de un ruido de una frecuencia tan elevada, y por tanto no es inmediato percibir que el ruido procede en realidad del carril contrario.

Una manera de identificar sin error el origen de dicho ruido es emplear una sonda de intensidad acústica, en lugar de simples micrófonos. En el dominio de la frecuencia, el signo de la intensidad, positivo o negativo, muestra la localización de la fuente del ruido. La Figura 11 muestra un caso estudiado en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la UPV/EHU en el que se utilizó con éxito esta técnica.

Otra manera de corregir el problema consiste en el empleo de aros sintonizados con las ruedas del tren. El principio en el que se basa su funcionamiento es el de dos chapas metálicas separadas por un elastómero. La Figura 12 muestra un caso en el que dichos aros fueron utilizados en una colaboración con el Departamento de Ingeniería Mecánica de la UPV/EHU, lográndose que se suprimiera totalmente el squeal, con reducciones de hasta 25 dB(A). En la figura se llega a percibir que los aros fueron pintados con pintura reflectante.

Figura 11. Sonda de Intensidad Acústica clavada a la durmiente.



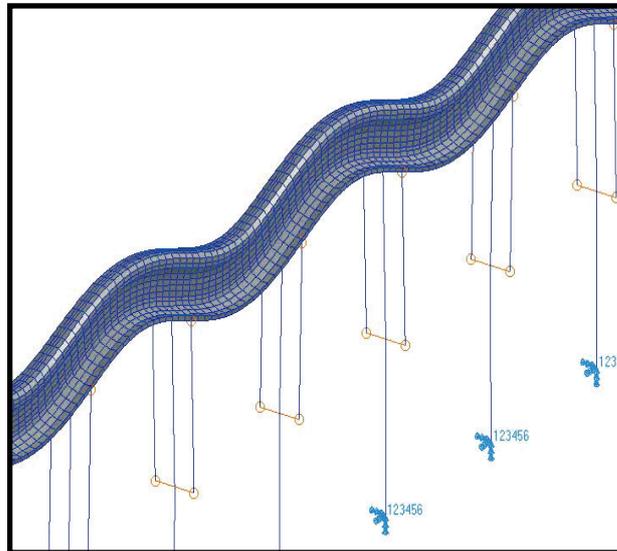
Figura 12. Unidad con ruedas dotadas de aros para suprimir el squeal.



Una vía de apoyo continuo para eliminar el pinned-pinned

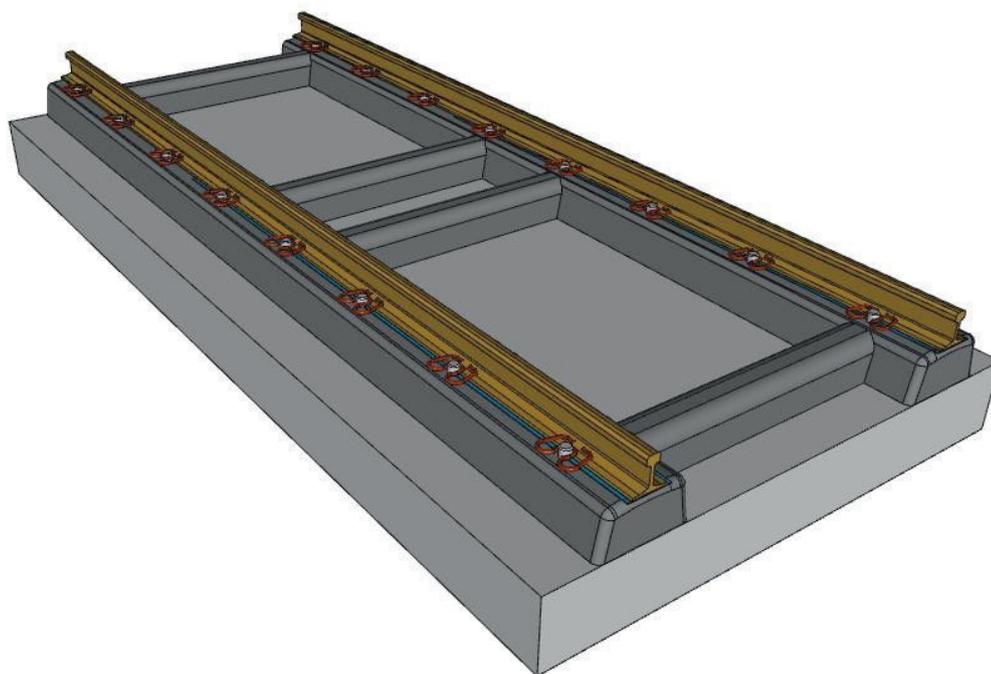
Se conoce con el nombre de resonancia pinned-pinned a la frecuencia natural y al modo correspondiente en los que el carril vibra de manera que los puntos apoyados sobre las durmientes permanezcan inmóviles. Este modo puede verse en la Figura 13.

Figura 13. *Modo de vibración pinned-pinned.*



Este modo puede presentar algunos problemas a largo plazo, debido al continuo paso de cada rueda por encima de una durmiente y seguidamente por la zona central del vano, y así sucesivamente. Este tipo de excitación se denomina excitación paramétrica y puede controlarse a base de un apoyo continuo del carril sobre losa de concreto prefabricada. La Figura 14 muestra una vía de este tipo que se encuentra en desarrollo por parte de los autores de este artículo, dentro del Proyecto Europeo In2Track3.

Figura 14. Vía con apoyo continuo sobre losa de concreto prefabricada en desarrollo dentro del proyecto In2Track3.



Conclusiones

En este artículo se han presentado algunos de los principales avances en el control y disminución del ruido del ferrocarril, desde el punto de vista mecánico y atendiendo a la fuente de emisión. Una parte de los aspectos mencionados (ruido de rodadura, ruido de squeal) se presentan también en otros ámbitos de la Ingeniería Mecánica, como en fenómenos de rodadura de acero sobre acero, fenómenos de laminación con rodillos de laminación, así como en el caso de frenos o de sierras de corte. El artículo también describe el importante esfuerzo investigador que Europa está realizando en orden a contar con un liderazgo en el sector ferroviario, para diseñar trenes más rápidos, seguros, baratos, ligeros, cómodos para los pasajeros, sencillos de mantener, con el menor consumo posible, respetuosos con el medioambiente y también más silenciosos. Por ello en el artículo se enumeran los importantes proyectos europeos de investigación dentro del campo del ruido ferroviario ya terminados y en curso de realización.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación recibida de la European Horizon 2020 Joint Technology Initiative Shift2Rail a través de los contratos No 826255 (IN2TRACK2) y No 101012456 (IN2TRACK3). Los autores también desean agradecer al Ministerio de Ciencia e Innovación (MCI), a la Agencia Estatal de Investigación (AEI) y al Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) como entidades financiadoras a través del contrato PID2019-109483RB-I00, y también al Gobierno Vasco por su asistencia financiera a través de IT1764 -22, así como a la Fundación Euskoiker y a Euskal Trenbide Sarea por la colaboración en marcha.

Referencias bibliográficas

Shift2Rail. (2021). *List of all Shift2Rail Projects*. Recuperado de https://projects.shift2rail.org/s2r_projects.aspx

Unión Europea. (2014). *Reglamento (UE) No 1302/2014 de la Comisión de 18 de noviembre de 2014 sobre la Especificación técnica de interoperabilidad aplicable al subsistema «material rodante, locomotoras y material rodante de viajeros» del sistema ferroviario en toda la Unión Europea*. Diario Oficial de la Unión Europea, 12.12.2014.

Stylianos Kephelopoulos, Marco Paviotti, Fabienne Anfosso-Lédée. (2012). *Common Noise Assessment Methods in Europe*. Luxembourg: European Commission - Joint Research Centre - Publications Office of the European Union.

UIC Rail System Department. (2020). *Train Track Interaction Sector – Acoustics, White Paper*. Paris: UIC Railway Technical Publications.

Thompson, D. J. (2009). *Railway Noise and Vibration. Mechanisms, Modelling and Means of Control*. Oxford, UK: Elsevier

E. G. Vadillo, J. A. Tárrago, G. Garate, C. Angulo. (1998). Effect of sleeper distance on rail corrugation. *WEAR. Int Journ on the Sci and Tech of Friction, Lubric and Wear*, 217, 140–146.

I. Gómez, E. G. Vadillo, J. Santamaría. (2006). A comprehensive track modelisation for the improvement of corrugation models. *Journal of Sound and Vibration*, 291 (3), 522-534.

N. Correa, E.G.Vadillo, J. Santamaria, J. Herreros. (2016). A versatile method in the space domain to study short-wave rail undulatory wear caused by rail surface defects. *WEAR. Int Journ on the Sci and Tech of Friction, Lubric and Wear*, 352, 196-208. doi: 10.1016/j.wear.2016.02.012.

O. Oyarzabal, I. Gómez, J.Santamaría, E. G. Vadillo. (2009). Dynamic optimization of track components to minimize rail corrugation. *Journal of Sound and Vibration*, 319, 904-917.

O. Oyarzabal, N. Correa, E. G. Vadillo, J. Santamaría, J. Gómez. (2011). Modelling rail corrugation with specific-track parameters focusing on ballasted track and slab track. *Vehicle System Dynamics. Int. Journal of Veh. Mech. and Mobility*, 49, nº 6, 2011.

N. Correa, O. Oyarzabal, E. G. Vadillo, J. Santamaria, J. Gomez. (2011). *Rail corrugation development in high speed lines. WEAR. Int Journ on the Sci and Tech of Friction, Lubric and Wear*, 271.

J.Santamaría, E. G. Vadillo, O. Oyarzabal. (2009). Wheel-rail wear index prediction considering multiple contact patches. *WEAR. Int Journ on the Sci and Tech of Friction, Lubric and Wear*, 267, 1100-1104.

Caracterización de las enfermedades dermatológicas asociadas a COVID-19.

Characterization of dermatological diseases associated with COVID-19

Paola Alejandra Lara Solís¹, Sandra Villacís Valencia¹ *, Josué Acosta

Acosta¹, Carolina Galarza de la A2

¹Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencias de la Salud. Carrera de Medicina, Ambato, Ecuador

²Hospital Guasmo Sur Guayaquil, Ecuador

*Autor por correspondencia se.villacis@uta.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.31243/id.v16.2022.1641>

Resumen

La enfermedad COVID-19 producida por SARS-CoV-2 ha causado un impacto mundial devastador. La población pediátrica tiene la probabilidad de infectarse con sintomatología muy variada de resolución benigna en la mayoría de los casos. Se ha observado en este grupo lesiones dermatológicas que van desde lesiones acrales, exantemas vesiculares, erupciones urticarianas, exantemas macupapulares. A continuación, se describe la evidencia disponible de lesiones dermatológicas producida por SARS-CoV-2. Se toma un caso de una paciente pediátrica con antecedentes patológicos familiares de padres diagnosticados enfermedad por COVID-19 producida por SARS-CoV-2 de la ciudad de Guayaquil con cuadro que inició con fiebre, cefalea, dolor articulares, dolor abdominal difuso, vómito y diarrea por lo que fue ingresada a la casa de salud, las pruebas rápidas para COVID 19 fueron positivas. A las 24 horas presentó lesiones en piel, resequedad, un exantema eritematoso con predominio en cara a nivel frontal, mejillas, mentón, tórax y hombro con la aparición de lesiones maculo-

pápulas y vesículas. Recibió tratamiento sintomático y a los 5 días es dada el alta por mejoría del cuadro con persistencia del exantema y erupción. La sospecha clínica de COVID-19 producida por SARS-CoV-2 en niño teniendo en cuenta los antecedentes patológicos familiares y el perfil epidemiológico juega un papel fundamental al realizar el diagnóstico precoz del virus SARS -CoV2, se evidencia a sintomatología diversa en la población pediátrica que pueden acompañarse de lesiones a nivel de la piel de resolución benigna.

Palabras clave: COVID-19, SARS-CoV-2, piel

Abstract

The COVID-19 disease caused by SARS-CoV-2 has caused a devastating global impact. The pediatric population is likely to be infected with very varied symptoms of benign resolution in most cases. Dermatological lesions ranging from acral lesions, vesicular rashes, urticarial eruptions, macupapular rashes have been observed in this group. Describe the available evidence of dermatological lesions produced by SARS-CoV-2. A pediatric patient with a family pathological history of parents diagnosed with a COVID-19 disease caused by SARS- CoV-2 from the city of Guayaquil is described with a picture that begins with fever, headache, joint pain, diffuse abdominal pain, vomiting and diarrhea. Therefore, she is admitted to the health home, the rapid tests for COVID 19 are positive. At 24 hours, he presented skin lesions, dryness, an erythematous rash predominantly on the face at the frontal level, cheeks, chin, chest and shoulder with the appearance of maculopapule and vesicle lesions. She received symptomatic treatment and after 5 days she was discharged due to an improvement in the condition with persistence of the rash and rash. The clinical suspicion of COVID-19 produced by SARS-CoV-2 in children, taking into account the family pathological history and the epidemiological profile, plays a fundamental role when making the early diagnosis of the SARS-CoV2 virus, it is evidenced by diverse symptoms in the pediatric population that can be accompanied by lesions at the level of the skin of benign resolution.

Keywords: COVID-19, SARS-CoV-2, skin

Introducción

En el mes de diciembre de 2019 en Wuhan (China) se presentaron nuevos casos de neumonía de causa desconocida, con altos índices de mortalidad que más tarde fue identificada como secundaria al nuevo patógeno virus SARS-CoV-2, lo que causó resultados devastadores en el mundo. (Nandy K, Salunke A ,2020), (Ruiz-Bravo A, Jiménez-Valera M. 2020).

Los niños tienen un sistema de respuesta inmune específico que es difiere de los adultos, por lo que el desenlace ante la contaminación por virus SARS-CoV-2 tiene mejor pronóstico. Ante la presencia de COVID-19 el grupo pediátrico presenta un cuadro clínico con pocas complicaciones con mejor resultado y una buena respuesta al tratamiento. Se han discutido teorías sobre esta respuesta benigna debido a la baja susceptibilidad que está en relación con el desarrollo y función de la proteína ACE2 con una baja capacidad de unión con el virus SARS CoV-2 y la respuesta intracelular inducida por ACE2 en las células epiteliales alveolares en los niños es menor que en adultos (Ruiz-Bravo A, Jiménez-Valera ,2020), (Cai X, Jiang H, Zhang S, 2020), (Ladhani SN, Amin-Chowdhury Z2020), (GT-PBE 2021).

Si analizamos desde el punto de vista epidemiológico la mayor cantidad de infecciones en los niños tienen como agentes causales los virus por lo tanto en esta edad se tienen mayor cantidad de anticuerpos contra virus respiratorios en relación con los adultos. Esto determinaría que los cuadros clínicos producidos por el virus SARS CoV-2 sean más leves incluso en lugares donde la cantidad de personas infectadas es grande y coincide con el invierno cuando el virus respiratorio se propaga más. Además, existen otros virus en el pulmón común y la mucosa respiratoria de los niños pequeños, y el crecimiento del SARS CoV-2 puede restringirse mediante la interacción directa, es decir, la competencia entre los virus presentes (GT-PBE 2021).

En estudios de casos realizados en la población adulta en Wuhan se detecta una disminución del recuento de linfocitos, células T CD4, CD8 en sangre en etapas temprana de la COVID 19 esto indica que la inmunidad adaptativa está involucrada en el daño inmunológico considerándose una razón importante en su patogenia (Zhang G, Zhang J, 2022). A diferencia de lo que sucede en la población pediátrica donde el recuento de glóbulos blancos y el recuento absoluto de linfocitos de los niños son en su mayoría normales, lo que parece explicar las manifestaciones clínicas leves de las enfermedades infantiles; en este análisis también se incluye a pacientes pediátricos trasplantados con terapia inmunosupresora como se informó en Italia (Recalcati S, 2020)

El virus del SARS-CoV-2 es altamente contagioso y puede propagarse rápidamente de persona a persona a través de la tos o las secreciones respiratorias y el contacto cercano; las gotas respiratorias de más de 5 micrones pueden transmitirse a una distancia de hasta 2 metros y sobre todo en lugares cerrados, las manos o fómites contaminados por las secreciones entrarán en contacto con las mucosas de la boca, la nariz o los ojos constituyendo un foco de contaminación (Recalcati S, 2020)

Existen evidencia de lesiones cutáneas con presencia de patrones tipo erupciones con eritema, lesiones muy similares a las producidas por el virus de la varicela con la presentación de vesículas, máculas, placas purpúricas, urticaria, exantema morbiliforme, pápulas rojo púrpura en los dedos, lesiones isquémicas acrales, pérdida de cabello (Recalcati S, 2020), (González Payares M, 2020).

En la búsqueda de la fisiopatología de las lesiones en las células de la piel producidas por el virus del SARS-CoV-2 se han lanzado alguna hipótesis como aquellas causadas por el mismo efecto citopático en los queratinocitos tal cual como se produce en enfermedades previamente estudiadas causadas por otros virus como exantema morbiliforme, urticariforme, semejante a ciertas reacciones medicamentosas, y lesiones variceliformes (Herrera J, Peñafiel A, 2020).

También se considera que el incremento exagerado de citoquinas ante la presencia del virus del SARS-CoV-2 debido a la alteración de la línea blanca como linfocitos T y macrófagos, al presentarse un fenómeno muy parecido al síndrome de activación

macrófagica presentando lesiones como isquemia acral, gangrena, púrpura retiforme, livedo racemoso en aquellos pacientes con mal pronóstico por lo tanto la edad juega un papel importante.

En los pacientes jóvenes debido a la activación de una respuesta temprana de interferón tipo I se ha relacionado con la presentación de lesiones cutáneas con mejor resolución y pronóstico benigno muy semejantes a la perniosis. Estas hipótesis nos han permitido establecer una relación fisiopatológica entre las manifestaciones cutáneas en relación con la edad de los pacientes y el posible pronóstico (Fernández-nieto D, Ortega-quijano D, 2019).

Presentación del caso

Se trata de una paciente pediátrica de 8 años de edad sin antecedentes patológicos personales, con antecedentes patológicos familiares padres diagnosticados enfermedad por COVID-19 producida por SARS-CoV-2 en la ciudad de Guayaquil. Con un cuadro fiebre, cefalea, artralgias, dolor abdominal tipo cólico difuso, acompañado vómito por varias ocasiones de característica biliosa por lo cual es ingresada en una casa de salud a las 24 horas de su ingreso presenta resequedad en la piel, y un exantema eritematoso con predominio en cara a nivel frontal, mejillas, mentón, tórax y hombro con la aparición de lesiones maculo- pápulas, vesículas y pústulas. A las 48 horas presente diarreas líquidas. La sospecha clínica y el análisis epidemiológico nos lleva a descartar enfermedad por COVID 19 teniendo los siguiente resultado en los examen de laboratorio PCR positivo 3,88 mg/L, pruebas rápidas COVID 19 IgM positiva, pruebas rápidas COVID 19 IgG tendencia a la positividad En la biometría hemática presenta leucocitos normales con una leve neutrofilia 82.5 % (55-70) y linfopenia 12.5% (17-45), coproparasitario negativo, Rx de tórax Normal, en el uroanálisis aspecto ligeramente turbio, 12-14 leucocitos, picocitos de 12-14, bacterias ++, cetonas + ; anti-cuerpos de la clase IgM contra el SARS-CoV 2 en 126 (0-0.99), IgG normal, PCR 4.05 mg/L (0-0.9), Dengue negativo, tiempos de hemostasia y coagulación normal, en la química sanguínea la fosfatasa alcalina 395 U/L (35-104), Deshidrogenasa Láctica (LDH) 232 U/L (100-190) , electrolitos normales, Aspartato Amino Transferasa (TGO)

82 U/L, (12-37), Amino transferasa Pirúvica (TGP) normal, ECO abdominal normal, Ferritina Normal. Recibe hidratación intravenosa, antibióticos ampicilina más amikacina por la infección de vías urinarias, además recibe paracetamol, simeticona, complejo B y loratadina La sintomatología desaparece al quinto día persistiendo las lesiones dermatológicas por lo que decide el alta médica (Figura 1 y Figura 2).

Figura 1. Fotografías de la paciente donde se observa un exantema eritematoso con predominio en cara a nivel frontal, mejillas, mentón; tórax y hombro



Figura 2. Fotografías de la paciente donde se observa lesiones maculo- pápulas y vesículas



La Covid-19 puede afectar diferentes sistemas de órganos, incluyendo la piel, la primera descripción de pacientes con enfermedades producto del virus señalado en lesiones cutáneas se realizó en Italia por Recalcati y otros autores⁽¹⁵⁾, quienes reportan 88 pacientes de los cuales 18 tenían lesiones en piel como *irritaciones*, urticaria y vesículas similares a la varicela, lo que concuerda con la presentación de las lesiones en nuestra paciente pediátrica en Guayaquil y es así que se presenta en las fotografías (Tao J, Song Z, Yang L, Huang C 2019), (Galván Casas C, Català A, Carretero Hernández G 2020),(Asociación Española Dermatología. Coronavirus2021).

Sin duda alguna el sistema inmunológico de los niños frente a la COVID tiene buena evolución sobre los problemas de la piel con un pronóstico favorable

Referencias bibliográficas

Asociación Española Dermatología. Coronavirus: Estas son las cinco manifestaciones del Covid-19 en la piel. ABC enfermedades2021;Available from: https://www.abc.es/salud/enfermedades/abci-cinco-patronos-cutaneos-covid-19-202004301337_noticia.html

Cai X, Jiang H, Zhang S, Xia S, Du W, Ma Y, et al. Clinical manifestations and pathogen characteristics in children admitted for suspected COVID-19. *Front Med* 2020;14(6):776–85.

De Masson A, Bouaziz J-D, Sulimovic L, Cassius C, Jachiet M, Ionescu M-A, et al. Chilblains is a common cutaneous finding during the COVID-19 pandemic: A retrospective nationwide study from France. *J. Am. Acad. Dermatol.*2020;83(2):667–70.

Diorio C, Henrickson SE, Vella LA, McNerney KO, Chase J, Burudpakdee C, et al. Multisystem inflammatory syndrome in children and COVID-19 are distinct presentations of SARS-CoV-2. *J Clin Invest* 2020;130(11):5967–75.

Fernández Bosch A, Martínez de la Torre C, Córcoles García S, Serna Serrano B. Manifestaciones cutáneas por COVID-19 en paciente polisintomática. *Rev Clínica Med Fam* 2020;13(3):235–9.

Fernández-nieto D, Ortega-quijano D, Jiménez-cauhé J, Jaén-olasolo P. Dermatologic manifestations of coronavirus disease 2019 (COVID-19). *An Rnm* 2020;137(137(02)):213–21.

Galván Casas C, Català A, Carretero Hernández G, Rodríguez-Jiménez P, Fernández-Nieto D, Rodríguez-Villa Lario A, et al. Classification of the cutaneous manifestations of COVID-19: a rapid prospective nationwide consensus study in Spain with 375 cases. *Br J Dermatol* 2020;183(1):71–7. Available from: https://www.abc.es/salud/enfermedades/abci-cinco-patronos-cutaneos-covid-19-202004301337_noticia.html

González González F, Cortés Correa C, Peñaranda Contreras E. Manifestaciones cutáneas en pacientes con COVID-19: características clínicas y mecanismos fisiopatológicos postulados. *Actas Dermosifiliogr* 2021;112(4):314–23. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001731020305160>

González Payares M. Covid-19 En Iberoamérica: Un Acercamiento Covid-19 in Iberoamerica: an Approach From. *Ipsa Sci* 2020;5(1):79–87.

Herrera J, Peñafiel A, Rivas M. Manifestaciones cutáneas en la infección de COVID 19: Revisión Bibliográfica. *Scielo* 2020;1–19. Available from: <https://www.esPOCH.edu.ec/>,

Ladhani SN, Amin-Chowdhury Z, Davies HG, Aiano F, Hayden I, Lacy J, et al. COVID-19 in children: analysis of the first pandemic peak in England. *Arch Dis Child* 2020;105(12):1180–5.

Martínez V. COVID-19: Lesiones cutáneas según la progresión de la enfermedad. *Ocean. Med.*2021; Available from:

<https://magazine.oceanomedicina.com/actualidad/lesiones-cutaneas-en-pacientes-con-covid-19>

Miembros del Grupo de Trabajo de Pediatría Basada en la Evidencia (GT-PBE). Covid19 En Pediatría Valoración Crítica De La Evidencia Rev Ext-5. COVID-19 en Pediatría valoración crítica la Evid 2021;32–97.

Nandy K, Salunke A, Pathak SK, Pandey A, Doctor C, Puj K, et al. Coronavirus disease (COVID-19): A systematic review and meta-analysis to evaluate the impact of various comorbidities on serious events. *Diabetes Metab Syndr Clin Res Rev* 2020;14(5):1017–25.

Recalcati S. Cutaneous manifestations in COVID-19: a first perspective. *J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol.* 2020;34(5): e212–3.

Ruiz-Bravo A, Jiménez-Valera M. SARS-CoV-2 y pandemia de síndrome respiratorio agudo (COVID-19). *Ars Pharm.* 2020;61:63–79.

Tao J, Song Z, Yang L, Huang C, Feng A, Man X. Emergency management for preventing and controlling nosocomial infection of the 2019 novel coronavirus: implications for the dermatology department. *Br. J. Dermatol.* 2020;182(6):1477–8.

Zhang G, Zhang J, Wang B, Zhu X, Wang Q, Qiu S. Analysis of clinical characteristics and laboratory findings of 95 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a retrospective analysis. *Respir Res* 2020;21(1):74.

Uso del modelo de pez cebra como herramienta para evaluar la actividad antiinflamatoria y antioxidante de los alimentos. Revisión de literatura

Use of the zebrafish model as a tool to assess the anti-inflammatory and antioxidant activity of foods. Literature review

Cristina Arteaga¹, Verónica Guanga², María Fernanda Marizande³, Ruth Borja⁴

¹ Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias de la Salud, Ambato, Ecuador, ca.arteaga@uta.edu.ec

² Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias de la Salud, Ambato, Ecuador, ve.guanga@uta.edu.ec

³ Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias de la Salud, Ambato, Ecuador, mf.marizande@uta.edu.ec

⁴ Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, Ambato, Ecuador, rborja9883@uta.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.31243/id.v16.2022.1665>

Resumen

Este trabajo se basa en identificar las técnicas de análisis que se emplean para evaluar el efecto antioxidante y antiinflamatorio empleando el modelo de pez cebra. Para realizar la búsqueda de artículos científicos se utilizó las bases de datos Science Direct, Google Scholar y SciELO empleando los términos zebra fish, antioxidant, anti inflammatory, model, *Danio rerio*. Se revisaron cincuenta artículos, de los cuáles se eligieron treinta y tres para realizar esta revisión y fueron clasificados según la fuente de extractos vegetales, compuestos extraídos de plantas, compuestos químicos y otras fuentes, de cada artículo se destacó los análisis *in vivo*, *in vitro* y las condiciones de tratamiento empleado en el pez cebra, con el objetivo de analizar las técnicas más relevantes que se pueden realizar en este modelo y conocer los análisis complementarios que se pueden realizar al pez cebra.

Palabras clave:

Pez cebra, antiinflamatorio, antioxidante, modelo

Abstract

The use of metabolites obtained from plants that are suitable for human consumption requires a prior evaluation to measure their effectiveness and adverse effects. Bioethics committees control the use of laboratory animals for these purposes, making working with these models imply high costs and more time to carry out laboratory tests. Hence, zebrafish have great advantages as an animal model, because in their first hours of development they are transparent, their growth is rapid, simple techniques can be used for their study, oxidative and inflammatory stress can be induced to evaluate the anti-inflammatory response and oxidative stress in a similar way to the processes that occur in humans. This work is based on identifying the analysis techniques used to evaluate the antioxidant and anti-inflammatory effect using the zebrafish model. To search for scientific articles, the Science Direct, Google Scholar and SciELO databases were used using the terms zebra fish, antioxidant, anti inflammatory, model, Danio rerio. Fifty articles were reviewed, of which thirty-three were chosen to carry out this review and were classified according to the source of plant extracts, compounds extracted from plants, chemical compounds and other sources, of each article the in vivo, in vitro analyzes were highlighted. and the treatment conditions used in zebrafish, with the aim of analyzing the most relevant techniques that can be performed in this model and knowing the complementary analyzes that can be performed on zebrafish.

Keywords:

Zebrafish, antiinflammatory, antioxidant, model

Introducción

La ciencia siempre ha sabido aprovechar los productos naturales para obtener nuevos medicamentos o para usar los metabolitos de plantas y así obtener nuevos compuestos, (Armas, 2016). Los metabolitos son obtenidos de varias fuentes, una de las más usadas son las fuentes vegetales, además se puede obtener de animales, microorganismos,

(Camacho-Escobar et al., 2020). Los metabolitos utilizados en medicina se producen en el metabolismo secundario de los organismos, teniendo diversas aplicaciones en varios campos de la salud y alimentación, actualmente se potencia con ingeniería genética con lo que se obtiene mayor producción y se disminuyen costos (Camacho-Romero et al., 2017). El requerimiento de nuevos medicamentos para paliar dolencias existentes o nuevas enfermedades, hace que se siga investigando nuevos metabolitos y principios activos de plantas útiles para el ser humano, la constante exploración de nuevos productos puede presentar ciertos inconvenientes como la toxicidad de los compuestos, (Armas, 2016), pudiendo ocasionar perjuicios para la salud, por ello, es preciso realizar un estudio preliminar de estos compuestos, así como de los efectos toxicológicos que pudieran presentar en seres humanos, (Castro, 2013).

La evaluación de los metabolitos incluye la determinación de la dosis máxima tolerable, que permite saber la dosis a la que es seguro su uso, Además se debe estudiar los efectos que pudieran producir por su uso continuo, para lo cual se emplea varios modelos animales *in vivo*, (Saeidnia et al., 2016), esto permite aumentar la seguridad de los productos para ser usados por seres humanos, además de un acercamiento al efecto real del metabolito en células, (Moctezuma Viera, 2020), lo que se complementa con análisis *in vitro*, asimismo se evalúa la citotoxicidad, así como su efecto, en el desarrollo de embriones o en tejidos específicos, (Escobedo-Moratilla, Abraham; Barba de la Rosa, Ana Paulina; Pérez-Urizar, 2015).

Los modelos *in vivo* permiten optimizar tiempos de investigación, evita usar seres humanos para pruebas y asegurar la inocuidad de metabolitos en desarrollo, (Acevedo Fernández et al., 2013), pero varias organizaciones tienen conflicto con el uso de animales para este fin. Sin embargo, es importante observar el efecto de nuevos compuestos en organismos vivos y por tanto sigue siendo la opción más utilizada para probar metabolitos y principios activos, (Fina et al., 2013).

Uno de los principales modelos animales empleados son los roedores, como ratones, ratones y conejos, sin embargo, en los últimos años el pez cebra se ha posicionado como un referente como modelo animal, (Lawrence, 2007), gracias a su rápida reproducción, la transparencia de su piel y la consecuente observación directa de efectos en sus órganos internos (White et al., 2008), son fáciles de manejar y son homólogos en un 70% con el genoma humano y comparten un 84% de similitud de genes asociados a enfermedades en seres humanos, (Espinosa, 2016). Estas características hacen que el

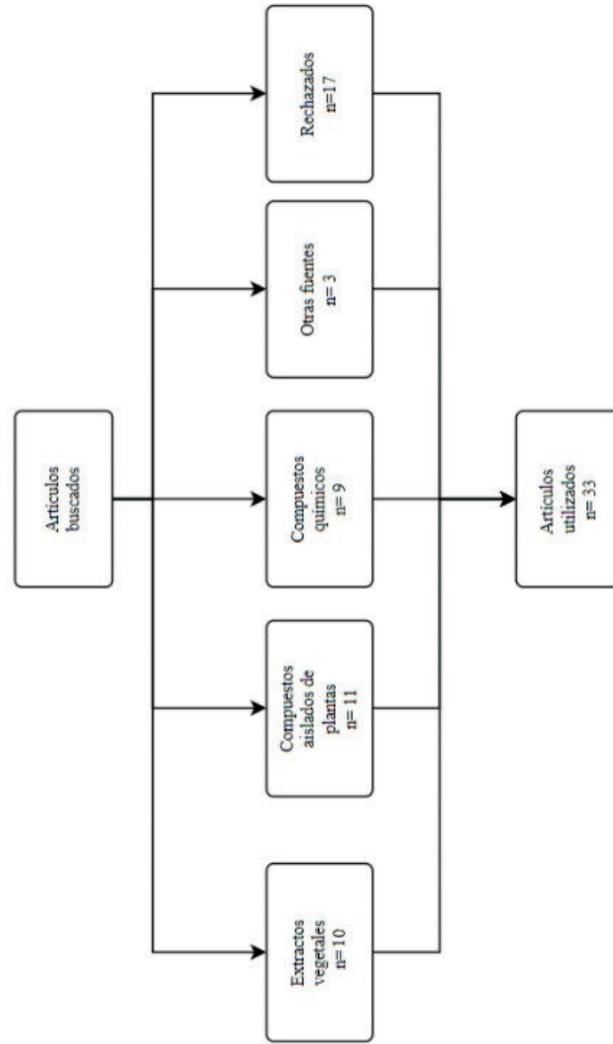
pez cebra sea uno de los mejores modelos para probar metabolitos, extractos o matrices alimentarias pues las cantidades de compuestos que se requieren son mínimas y los costos se reducen. También permite observar determinado efecto durante todas sus etapas de vida, (Kettleborough et al., 2013). Por todo lo antes mencionado podemos decir que el objetivo de esta revisión es analizar los distintos tratamientos, metabolitos y resultados de actividad antioxidante y antiinflamatoria empleada en modelos basados en pez cebra para poder compararlos y considerar futuras aplicaciones en proyectos de investigación.

Metodología

El presente estudio se basó en una revisión de artículos científicos, que se realizó empleando bases de datos como Science Direct, Google Scholar y SciELO (Scientific Electronic Library Online). Se identificó publicaciones utilizando palabras de búsqueda y términos que contenían "zebrafish", "antiinflamatorio" y "antioxidante". En particular, las principales palabras clave buscadas incluyeron "modelo de pez cebra", "modelo in vivo", "estrés oxidativo", "inflamación" y "toxicología". Se revisaron un total de 50 artículos de los cuales 33 se emplearon para la revisión bibliográfica basados en el efecto antioxidante y antiinflamatorio de los compuestos empleados en modelos de pez cebra, se incluyeron artículos originales y libros. Se verificó que las publicaciones revisadas no sobrepasen los 10 años de haber sido publicados. Las publicaciones se seleccionaron según su relevancia y actualidad.

Resultados

Figura 1. Resumen del número de artículos revisado



Fuente: Elaboración propia a partir de búsqueda bibliográfica (2021).

Se colocaron solo los análisis realizados en pez cebra, sin embargo, los análisis in vitro realizados si se discutieron.

Tabla 1. Trabajos de extractos vegetales in vivo

Compuesto	Concentración	Etapa expuesta	Parámetros in vivo evaluados	Metodología de parámetros	Referencia
Extractos de sofrito de tomate	0,5g/400 ml	4 d.p.f	1. Ensayo de migración de neutrófilos	1. Tinción con kit Leucognost pox y observación en microscopio NIKON eclipse TS100	(Arteaga, Bustillos y Gómez, 2020)
Extracto fenólico liofilizado de <i>Argentine Patagonia barberry</i>	5 µg/ml	4-6 h.p.f	1. Generación de ROS intracelular	1. Ensayo de fluorescencia DCFH-DA, se usa reactivo DCFH-DA y se observa en cámara Moticom 2000	(Boeri, et al., 2020)
Proteínas liofilizadas aisladas del extracto	0 y 0.25 mg/ml	1 h.p.f	1. Mortalidad, 2. Morfología	1.2. Microscopio estereoscópico	
Butirato	30 mM	5 d.p.f	1. Cuantificación de ácidos grasos cortos, 2. Recuperación de cola, 3. Imagen, 4. Seguimiento de neutrófilos, 5. PCR, 6. Inyección de CRISPR, 7. Detección de acetilación de histonas	1. Mediante columna de capilar HPFFAP, 2. Corte y observación de crecimiento, 3. Fluorescencia y observación con microscopio, 4. ImageJ software, 5. qPCR para primers 18s y hcar1, 6. Inyección de solución con ARN y Cas9 en membrana embrionaria, 7. SDS page	(Cholán, et al., 2020)

Compuesto	Concentración	Etapas expuesta	Parámetros in vivo evaluados	Metodología de parámetros	Referencia
Extracto liofilizado de la fracción de etanol de <i>Clerodendrum cyrtophyllum</i>	5, 20 y 40 µg/mL	3 d.p.f	1. Generación de ROS intracelular, 2. PCR, 3. Actividad antiinflamatoria	1. Ensayo DCF-DA, 2. qPCR para genes <i>sod</i> , <i>gpx4</i> , <i>hsp70</i> , y <i>gadd45bb</i> . 3. qPCR para genes <i>β-actin</i> , <i>efl1-α</i> , <i>il-1β</i> , <i>il-8</i> , <i>tnf-α</i> , <i>mpo</i> , <i>c3a</i> , <i>pla2</i> , <i>nf-κb</i> , <i>il-10</i>	(Nguyen, et al., 2020)
Swertiamarin	2.7, 8.1, 40, 81, 162, y 243 µM	2 h.p.f	1. Enzimas marcadoras ALT y AST, 2. Nivel de Na ⁺ /K ⁺ -ATPasa, 3. Actividad de Cat, 4. Actividad de Sod, 5. Actividad de GSH y GPx, 6. Nivel de GST, 7. Peroxidación lipídica	1. Colorimetría de la reacción de aminoácidos aspartato y alanina, 2. Método de Shiosaka, 3. Oxidación de pirogalol, 4. Descomposición de H ₂ O ₂ , 5. Consumo de DTNB, 6. Formación de complejos con CDNB, 7. Formación de MDA	(Perumal, Gopal y Subramanian, 2021)
Extracto de <i>Parmotrema austrosinense</i> en acetona	200, 400, 600 y 1000 µg/ml	1 d.p.f	1. Mortalidad, 2. Histopatología	1. Microscopio electrónico, 2. Tejido intestinal fijado y observado mediante microscopio	(Poormina, et al., 2019)
Extracto de <i>Hypericum hookerianum</i>	0.05mg/mL, 0.1mg/mL y 0.5mg/mL	1 h.p.f	1. Mortalidad, 2. PCR	1. Microscopio para determinar ritmo cardíaco y tasa de eclosión, 2. RT-PCR para genes <i>L-1b</i> , <i>IL-6</i> , <i>cat</i> , <i>Cu-Zn</i> , <i>sod</i>	(Pradeep, 2019)
Extracto de <i>Moringa oleifera</i>	3, 10, 30, 100, 300 y 1,000 µg/mL	3001 h.p.f	1. Mortalidad, 2. Morfología	1. Microscopio electrónico, 2. Microscopio electrónico	(Syazleen, et al., 2020)

Compuesto	Concentración	Etapas expuesta	Parámetros in vivo evaluados	Metodología de parámetros	Referencia
Extracto de corteza de <i>Cassia fistula</i>		10 h.p.f	1. Toxicidad, 2. Actividad antioxidante	1. Observación en microscopio de supervivencia, cardiotoxicidad, neurotoxicidad y hepatotoxicidad, 2. Ensayo con DCFDA y observación en microscopio de fluorescencia	(Udaya, et al., 2020)
Polisacáridos de <i>Notopterygium franchetii</i> Boiss	10, 12.5, 25 y 50 µg/mL	4 h.p.f	1. Propiedades antiinflamatorias	2. Fluorescencia mediante DAF-FMDA	(Wang y Liu, 2020)

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados de la investigación bibliográfica

Tabla 2. Trabajos de compuestos vegetales aislados ensayados en pez cebra

Compuesto	Concentración	Etapas	Parámetros in vivo evaluados	Metodología de parámetros	Referencia
Naringenina,	Naringenin (20	0 h.p.f	1. Morfología, 2. Mortalidad	1. Microscopio, 2. Microscopio	(Arteaga et al., 2021)
apigenina, rutina,	μM), oleuropein				
oleuropeina, ácido	(15 μM), rutin				
clorogenico,	(10 μM), ácido				
curcumina,	clorogenico (20				
lycopene B, β-	μM), apigenin (10				
carotene y	μM), curcumin				
astaxanthin	(15 μM), lycopene				
	(20 μM),				
	astaxanthin				
	(20 μM), y β-				
	carotene (25 μM)				

Compuesto	Concentración	Etapas	Parámetros in vivo evaluados	Metodología de parámetros	Referencia
3-Bromo-4,5-Dihidroxi benzaldehído	12.5, 25, y 50 μM	7-9 h.p.f	1. Producción de ROS intracelular, 2. Peroxidación lipídica, 3. Tinción nuclear, 4. Ciclo celular, 5. Análisis de proteínas, 6. Inmunofluorescencia, 7. Apoptosis	1. Método con DCHF-DA, 2. Método DPPH, 3. Uso de (Cho et al., Hoechst 3342, 4. Resistencia frente a peróxido de hidrógeno y observación en citómetro, 5. Western blot para anti-bax, anti-bcl-xL, anti-PARP, anti-cleaved caspase-9 anti-phospho-NF- κ B p105, anti-phospho-NF- κ B p65, anti-rabbit IgG, HRP-linked antibody and anti-mouse IgG, HRP-linked antibody, 6. Método de	(Cho et al., 2019)
Capsaicina, ácido carnósico, cinnamaldehído, curcumina, diallil trisulfido, eugenol,	1, 5, 25 y 125 μM	6 d.p.f (larva)	1. Mortalidad	1. Microscopio estereoscópico	(Endo et al., 2020)
Polisacáridos sulfatados de <i>Padina boryana</i>	25, 50, 100 $\mu\text{g/mL}$	7-9 h.p.f (embriones)	1. Screen de actividad de radicales libres, 2. Expresión de CAT, SOD, Nrf2, Keap1, 3. Generación de ROS intracelular, 4. Peroxidación lipídica, 5. Apoptosis	1. DPPH y ensayo DCF DA, 2. Análisis de Western Blot (Jayawardena luego de reaccionar células con H ₂ O ₂ 3. Mediante análisis et al., 2020) DCFDA, 4. Análisis DPPH, 5. Análisis DPPH, tinción de naranja de acridina y observación por microscopio digital	

Compuesto	Concentración	Etapas	Parámetros in vivo evaluados	Metodología de parámetros	Referencia
Floroglucinol, eckol, dieckol, eckstolonol y triphloroethol	50 µM	3 h.p.f	1. Medición de ritmo cardíaco, 2. Generación de ROS intracelular, 3. Peroxidación lipídica, 4. Apoptosis	1. Medición a 35 hpf de las contracciones bajo microscopio, (Kang, Cha, et al., 2013) 2. Método con DCFH-DA, 3. Mediante DPP, 4. Tinción de naranja de acridina	
Dieckol	10 y 20 µM	7-9 h.p.f	1. Efecto protector frente a estrés por etanol, 2. Citotoxicidad LDH, 3. Expresión de <i>ax</i> , <i>Bcl-xL</i> , <i>cleaved caspase-3</i> , <i>PAR</i> , 4. Peroxidación lipídica. 5. Apoptosis	1. Ensayo MTT y medición por ELISA 2. Kit de detección (Kang, Kim, et al., 2013) 3. Western blot, 4. Método DPPP, 5. Tinción de naranja de acridina	

Compuesto	Concentración	Etapas	Parámetros in vivo evaluados	Metodología de parámetros	Referencia
Morina	20 µM, 40 µM, 60 µM, 80 µM, y 100 µM	2 h.p.f	1. Prueba de preferencia en la partición, 2. Prueba de compartimiento horizontal, 3. Ensayo de superóxido dismutasa, 4. Ensayo de catalasa, 5. Peroxidación lipídica, 6. Glutación reducido, 7. Actividad de glutación peroxidasa, 8. Actividad de glutación S transferasa, 9. Actividad de acetilcolinesterasa,	1. Orientación espacial de peces al pasar de una cámara a otra, 2. Tiempo de recorrido en un segmento desconocido, 3. Espectroscopia de la reacción con TrisHCl, 4. Espectroscopia de un lavado con buffer fosfato, dicromato de potasio y ácido acético, 5. Método TBARS, 6. Método con DTNB, 7. Espectroscopia de consumo de NADPH, 8. Espectroscopia de GSH y cloro di nitro benzeno, 9. Espectroscopia del consumo de acetilcolina iodida, 10. Método de Griess, 11. Microscopia fluorescencia luego de tratamiento con DCFDA, 11. Tinción con naranja de acridina, 12. qPCR	(Issac et al., 2021)

Compuesto	Concentración	Etapas	Parámetros in vivo evaluados	Metodología de parámetros	Referencia
Polifenoles de <i>Spartina alterniflora</i> y <i>Salicornia fragilis</i>	1, 5 y 10 µg/mL	7 d.p.f	1. Actividad osteogénica	1. Crecimiento frente al extracto y disección de la cabeza de las larvas observadas por microscopio	(Roberto et al., 2021)
Polisacáridos sulfatados de <i>Spirulina platensis</i>	0.5, 1.0, 1.5 y 2% de alimento	15 d.p.f	1. Crecimiento, 2. Reproducción, 3. Índice gonadosomático, 4. Análisis histológico	1. mediante diferencia de peso, 2. Mediante observación de huevos eclosionados y larvas supervivientes, 3. Método de Strum, 4. Método de Bruton con hematoxilina y eosina.	(Rajasekar et al., 2019)
(-)-loliolide	0, 6.25, 12.5, 25 µg/mL	7-9 h.p.f	1. Mortalidad, 2. Cantidad de ROS intracelular, 3. Peroxidación lipídica, 4. Apoptosis	1. Microscopio para determinar ritmo cardíaco 2. Método de DCFDA, 3. Método de DPPH, 4. Método con naranja de acridina	(Kim et al., 2020)

Compuesto	Concentración	Etapas	Parámetros in vivo evaluados	Metodología de parámetros	Referencia
Flavonoides de <i>Polygonatum odoratum</i>	10, 20, 50 y 100 µg/mL	4 h.p.f	1. Contenido de ROS, 2. Actividad de MAD, 3. Actividad de SOD	1. Fluorescencia con DCFH-DA, 2. Medición de absorbancia de mezcla centrifugada con etanol anhidro, 3. Medición de absorbancia de centrifugado con solución S	(Xia et al., 2021)

Fuente: *Elaboración propia en base a los resultados de la investigación bibliográfica*

Tabla 3. Trabajos de compuestos químicos en pez cebra

Compuesto	Concentración	Etapas	Parámetros in vivo evaluados	Metodología de parámetros	Referencia
Ulexita	5, 10, 20 y 40 mg/l	14 d.p.f	1. Concentración de proteínas, 2. Actividad de SOD, 3. Actividad de CAT, 4. Actividad de GPx, 5. Actividad de MPO, 6. actividad de paraoxonasa y arilesterasa, 7. Ratio de hidrólisis de paraxona 8. Peroxidación lipídica, 9. Actividad de Caspasa-3, 10. Determinación de daño de ADN por nivel 8-OHdG	1. Método de Bradford, 2. Densidad óptica de reacción con xantina y xantina oxidasa, 3. Método de Aebi, 4. Oxidación de NADPH midiendo su absorbancia, 5. Oxidación de o-dianicidina, 6. Kits comerciales, 7. Absorbancia a 37 C, 8. Método TBARS, 9. Kit de Elisa, 10. Kit comercial	(Alak, et al., 2020)
MeO-PEG-b-PMOT	1mM, 3 mM, 10 mM, 30 mM	5 d.p.f (embriones)	1. Mortalidad, 2. expresión de gstp1, 3. Biodistribución en células, 4. Morfología	1. Observación en microscopio 2. Dimetil maleato y sondas de ARN, 3. exponer a RNP marcadas y expuestas a fluorescencia electrónica, 4. observación en microscopio	(Bong, et al., 2016)
Difenil diselenida	3.0 mg/Kg DD de alimento	4-6 m.p.f (pez adulto)	1. Glucosa en sangre, 2. Preparación de tejidos, 3. Peroxidación de lípidos, 4. proteínas carboniladas, 5. niveles de tioles no proteicos, 6. ensayo de catalasa, 7. ensayo de superóxido dismutasa, 8. glutatión peroxidasa, 9. glutatión de s-transferasa, 10. RT-PCR	1. Glucómetro, 2. Homogeneizar el cerebro con Tris-HCl, 3. método TBARS, 4. Espectroscopia con solución tratada con DNPH, buffer de desnaturalización, etanol, acetato de etilo, 5. Espectroscopia a muestras tratadas con TSA y DTNB 6. Mezclar con buffer fosfato de potasio y H2O2, se midió la reducción de H2O2 por espectroscopia, 7. formación de adenocromo por	(Dos Santos, et al., 2020)

Compuesto	Concentración	Etapas	Parámetros in vivo evaluados	Metodología de parámetros	Referencia
		expuesta		espectroscopia, 8. Espectroscopia de la oxidación de NADPH, 9. Espectroscopia de la reducción de glutatión por CDNB, 10. para genes de enzimas antioxidantes	
Abamectina	0.5, 10, 15, 20 y 25 µg/l	7 d.p.f (pez joven)	1. Actividad de superóxido dismutasa, 2. Poder antioxidante para reducir hierro, 3. actividad de glutatión oxidasa, 4. glutatión reducido, 5. concentración de proteínas, 6. expresión de genes	1. Espectroscopia de la reducción de NBT, 2. Espectroscopia de la muestra con mezcla con TPTZ y FeCl ₃ , 3. Espectroscopia de la reducción de NADPH, 4. Método de Beutler espectroscopia de la muestra con tratamiento de solución Rasul y DTNB, 5. Método de Bradford, espectroscopia de la muestra con etanol, ácido fosfórico y azul de Coomassie, 6. Real time PCR con primers <i>cyp1a</i> , <i>vfg</i> , y <i>β-actin</i>	(Hanachi, et al. 2021)
Polietileno tereftalato	5, 10, 5000 µg/L				
Fluralano	2.00 y 0.20 mg/L	7 d.p.f (pez joven)	1. Toxicidad aguda, 2. Bioconcentración y eliminación, 3. Respuesta enzimática antioxidante (CAT, GSH-PX, GTS, SOD y CarE)	1. Concentración de furalano en agua con peces expuestos al compuesto y tiempo de muerte de cada pez, 2. Análisis de agua en período de bioconcentración y eliminación, 3. Uso de kits de Nanjing Jiancheng	(Jia, et al., 2017)
Monobutil pftalato	0, 0.5, 5, 10 mg/L	Pez adulto	1. Actividad de SOD, GSH-Px, CAT, MDA, NaKATpasa, CaMgATPasa, ALT, AST, 2. PCR, 3. Análisis histológico, 4. Apoptosis de hepatocitos	1. Uso de kits de Nanjing Jiancheng, 2. RT-PCR de expresión de genes (<i>sod</i> , <i>cat</i> , <i>gpx</i> , <i>Nrf2</i> , <i>HO-1</i>), 3. Extracción de hígado, fijación de la muestra tratada y observación mediante microscopio 4. Kit Jiancheng Nanjing y citómetro de flujo 5. Método MTT, espectroscopia luego de tratamiento con dimetil sulfoxido	(Jiao, et al., 2019)

Compuesto	Concentración	Etapas	Parámetros in vivo evaluados	Metodología de parámetros	Referencia
Vitamina E	2.62, 52.34, y 101.27 mg/kg	15 d.p.f	1. Actividad de superóxido dismutasa, 2. Actividad de GSH-PX 3. Actividad de peroxidasa, 4. PCR, 5. Western blot 6. Análisis de ácidos grasos, 7. Análisis histológicos	1. Método de xantina oxidasa, 2. Espectroscopía de oxidación de NADPH, 3. Espectroscopía, 4. qPCR para genes <i>nt10b</i> , <i>GSK-3β</i> , <i>PPARγ</i> , <i>β-catenin</i> , y <i>β-actin</i> , 5. SDS PAGE y gel con anticuerpos para <i>β-catenin</i> , <i>β-Actin</i> y <i>GSK-3β</i> , 6. Esterificación de ácidos grasos con metanol y hexano, luego cromatografía GC-MS, 7. Fijación y observación por microscopio	(Liu, Yu, Zhang, 2020)
Ketoprofeno	1, 10 y 100 µg/ml	3 h.p.f	1. Toxicidad, 2. Marcador de oxaloacetil transaminasa y piruvato glutamino transaminasa, 3. LDH, 4. ATPasa unida a la membrana, 5. Actividad de SOD, 6. Actividad de Cat, 7. Actividad de GSH, 8. Actividad de GPx, 9. Actividad de GST, 10. Peroxidación lipídica, 11. Histopatología	1. Observación de movimiento, respiración y nado, (Rangasamy, et al., 2018) 2. Método de Reitman y Frankel, 3. Método de Tietz, 4. Método de Shiosaca mediante espectro UV, 5. Método de Marklun, 6. Método de Aebi consumo de H ₂ O ₂ , 7. Método de Ellman, 8. Método de Habig, producción de CDNB, 9. Método de Devasagayam, producción de MDA, 10. Fijación en placa y observación mediante microscopio trinocular	
Resveratrol	10 µg/mL	3 h.p.f	1. Generación de ROS intracelular, 2. Apoptosis, 3. Actividad de superóxido dismutasa, 4. PCR, 5. Ensayo de EROD	1. Microscopio de fluorescencia para reacción con DCFH-DA, 2. Mediante naranja de acridina, 3. Kit de Nanjing, 4. Microscopio de fluorescencia con anticuerpos 8-OHdG, y H2AX, <i>cleaved-caspase 3</i> , 4. qPCR para genes <i>Gapdh</i> y <i>Elfa</i> , 5. Fluorescencia de la reacción con 7-etoxiresorufina	(Ren, et al., 2020)

Fuente: *Elaboración propia en base a los resultados de la investigación bibliográfica*

Tabla 4. Trabajos de otras fuentes en pez cebra

Compuesto	Concentración	Etapas	Parámetros in vivo evaluados	Metodología de parámetros	Referencia
Hidrolizado de lisosoma de huevo blanco de gallina	0, 156, 312, 625, 1250, 2500, 5000	48 h.p.f (larva)	1. Peroxidación de lípidos, 2. Mortalidad, 3. Morfología	1. Método TBARS, 2. Microscopio estereoscópico 3. falta de formación de somitas, falta de desprendimiento de la yema de la cola del saco vitelino por microscopio estereoscópico	(Carrillo et al., 2016)
58.000 U/ml	µg/ml				
Expresión de Nrf2a en peces GMO		1 h.p.f	1. Morfología, 2. Glutación y cisteína redox, 3. PCR, 4. Apoptosis	1. Microscopio de luz, 2. HPLC, 3. qPCR para genes <i>actb</i> , <i>b2m</i> , 4. Ensayo con naranja de acridina	(Sant et al., 2018)
Liofilizado de <i>Lactobacillus rhamnosus</i> y <i>Bifidobacterium longum</i>	12% en alimento	1 d.p.f	1. Motilidad, cinética y concentración de esperma, 2. Peso, 3. Comportamiento	1. Microscopio óptico triocular de contraste de fase 2. Microbalanza, 3. Observación mediante cámaras	(Valcarce et al., 2019)

Fuente: *Elaboración propia en base a los resultados de la investigación bibliográfica*

Discusión

Material bibliográfico

De una búsqueda en las bases de datos Elviesier-Scopus, PubMed y Springer se tomó 50 artículos según la temática que podían encajar con la revisión bibliográfica, de estos se descartó a 17 artículos, quedando 33 artículos seleccionados para su revisión, el descarte se dio por un análisis de los procedimientos y por los ensayos que se realizaron en cada artículo y así asociar los métodos de análisis para determinar estrés oxidativo e inflamación empleando en modelo de pez cebra.

Extractos vegetales

Las plantas son una fuente de metabolitos secundarios más importantes de la naturaleza, la generación de extractos y su aplicación en tratamientos o para identificar nuevas sustancias específicas que sirven para elaborar medicamentos, el potencial de estos extractos es de gran importancia para la industria alimenticia y farmacéutica.

En una primera fase de estudio de metabolitos se observó que en varios estudios emplearon extractos vegetales tanto para las pruebas de actividad antioxidante y antiinflamatoria, cinco de los estudios revisados emplearon extractos, principalmente liofilizados, ya que (Boeri et al., 2020) y (Nguyen et al., 2020) realizaron la extracción en disolventes orgánicos que son tóxicos para el pez cebra, por lo que se requiere la eliminación previa de estos solventes para poder usar el compuesto, mientras (Pradeep et al., 2019) usó la fracción en etanol, realizando ensayos para determinar estrés oxidativo directamente con el extracto; esto indica que el estado del producto final del metabolito es un factor que puede incidir en la actividad antioxidante y análisis in vivo del modelo.

Al ser compuestos no purificados los que se utilizan en estas fases, se requieren análisis de estructura y composición, los métodos más empleados para esto son HTPLC (cromatografía de capa fina de alto rendimiento), caracterización por electroforesis, inhibición de proteasas y digestibilidad de manera in vitro, además de actividad antioxidante utilizando DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo); (Pradeep et al., 2019) implementó biocompatibilidad y (Boeri et al., 2020) digestión gástrica e intestinal como pruebas relevantes.

Mientras que en las pruebas con el modelo de pez cebra, se realizaron ensayos de mortalidad mediante microscopio electrónico, con la medición del ritmo cardíaco y la tasa de eclosión de los peces, además de observar los cambios morfológicos por este mismo método; (Nguyen et al., 2020) y (Boeri et al., 2020) usaron el ensayo con DCF-DA (diclorodihidrofluoresceína diacetato), también conocido como DCFH-DA, para medir la generación de radicales intracelulares, esta es una técnica de fluorescencia basada en la tinción de células y la intensidad de reacción con los ROS (especies reactivas de oxígeno), (Pradeep et al., 2019) usó PCR (reacción en cadena de la polimerasa) en tiempo real (qPCR) para identificar la expresión de genes relacionados con la actividad antioxidante, debido a que el extracto puede servir tanto como antioxidante o como un estimulante para la actividad antioxidante dentro del individuo, estudiaron los genes *L-1b*, *IL-6*, *Cat*, *Cu-Zn*, *SoD*; (Cholan et al., 2020) también uso qPCR pero para primers específicos *18s* y *hcar1*. Solo (Poornima et al., 2019) realizó un análisis histopatológico del intestino. (Arteaga et al., 2020) analizó el efecto sobre la migración de neutrófilos como parte del proceso antiinflamatorio empleando extracto de sofrito de tomate desgrasado, empleando técnicas de tinción de los neutrófilos con el kit Leucognost pox, (Cholan et al., 2020) en cambio realizó el seguimiento de neutrófilos con fluorescencia y un software, al igual que (Wang & Liu, 2020) usaron otros marcadores de fluorescencia para esta proceso.

Otro de los métodos más comunes en estos estudios, fueron las cuantificaciones de actividad enzimática, (Perumal et al., 2021) realizaron varios análisis para enzimas CAT (catalasa), SOD (superóxido dismutasa), GSH (glutación reducido), GPx (glutación peroxidasa), GST (glutación S-transferasa), además de peroxidación lipídica, si bien, en este grupo de metabolitos no se observó una gran presencia de estos estudios, en los otros grupos se incrementa la importancia de los mismos.

Se usó huevos fecundados en etapas tempranas de desarrollo, con (Mohamad Shariff et al., 2020), (Pradeep et al., 2019) y (Boeri et al., 2020) a 1 hora post fertilización (h.d.f), (Perumal et al., 2021), (Wang & Liu, 2020), (Boeri et al., 2020) entre 2 y 6 h.p.f, (Udaya et al., 2020) ocupó peces de 10 h.p.f, mientras que, en los otros estudios se usó embriones de 1 y 3 días post fertilización (d.p.f). Mientras que en ensayos para estrés oxidativo solo en tres estudios se emplearon oxidantes, AAPH (dihidrocloreuro de 2,2'-azobis (2- amidinopropano) con (Boeri et al., 2020), sulfato de cobre con (Nguyen et al., 2020) y oxazolona con (Poornima et al., 2019).

Compuestos aislados de plantas

Si se cuenta con estudios de los compuestos de las plantas esto permite realizar posteriormente pruebas con un compuesto específico, eliminando interferencias y determinando con exactitud un determinado efecto, se revisaron doce artículos donde usaron uno o varios compuestos aislados de plantas, sin tratamiento o conversión, solo purificados.

Al ser compuestos ya conocidos se reduce la necesidad de analizar su estructura, por lo que solo cinco de ellos requirieron un estudio profundo de este tipo, (Kim et al., 2020) utilizó HCPCP (cromatografía de partición por centrifugación de alto rendimiento) y HPLC para analizar la (-)-loliolide que usó, (Xia et al., 2021) usó cromatografía con etanol para el metabolito, mientras (Rajasekar et al., 2019) fue el que más requirió de ensayos como solubilidad en distintos solventes polares y no polares, contenido de carbohidratos, proteínas, ácido uránico y caracterización estructural por espectrofotometría UV-vis (radiación ultravioleta-visible), (Roberto et al., 2021) usó ocho análisis químicos, entre los que resaltan actividad antioxidante por DPPH y ensayo de betacaroteno con cloroformo, por último, (Jayawardena et al., 2020) usó varias caracterizaciones como análisis de polifenoles, contenido de sulfatos, entre otros referentes a su investigación. (Cho et al., 2019) resaltó con un ensayo Western blot para anticuerpos ligados a la actividad inmunológica, estos fueron *anti-bax*, *anti-bcl-xL*, *anti-PARP*, *anti-cleaved caspase-9* *anti-phospho-NF-κB p105*, *anti-phospho-NF-κB p65*, *anti-rabbit IgG*.

En los ensayos in vivo, se usó peces de 7 a 9 h.p.f en los trabajos de (Cho et al., 2019; Jayawardena et al., 2020; Kim et al., 2020), mientras que, (Arteaga et al., 2021), empleo embriones entre 0 y 4 h.p.f así como otros autores (Issac et al., 2021; Kang, Kim, et al., 2013; Xia et al., 2021); por otro lado, se usó larvas de 6 d.p.f. en el trabajo de (Endo et al., 2020) debido a que requería peces que puedan soportar metabolitos fuertes frente al metabolismo animal, (Roberto et al., 2021) usó peces de 7 d.p.f mientras (Rajasekar et al., 2019), fue el que usó peces de mayor edad 15 d.p.f., principalmente porque el metabolito se suministró de forma oral mediante una mezcla en el alimento.

En los ensayos en peces se incluyó la apoptosis en seis de los once artículos, en todos se usó ensayos con tinción de naranja de acridina para la observación de células; la mortalidad se observó mediante microscopio óptico, haciendo una medición del ritmo cardíaco de los

en (Kim et al., 2020), siendo estos genes de actividad antioxidantes. La generación de radicales intracelulares fue evaluado mediante el método con DCF-DA en seis de los artículos que realizaron dicho ensayo, otro de los análisis más comunes fue la peroxidación lipídica en cinco de los doce artículos, de los cuales cuatro usaron el método con DPPH (1,3-bis (difenilfosfino) propano) y solo uno la reacción con TBARS (Thiobarbituric acid reactive substances). (Issac et al., 2021) fue el que realizó pruebas más exhaustivas para analizar la presencia de enzimas que brindan protección antioxidante, estas fueron para superóxido dismutasa, catalasa, glutatión reducido, glutatión peroxidasa, glutatión-S- transferasa y acetilcolinesterasa. (Rajasekar et al., 2019) observó el crecimiento, reproducción y efecto en los tejidos, siendo un estudio de mayor tiempo que los otros llegando hasta los 60 d.p.f por las dosis administradas en el alimento.

Se usó como inductor de estrés oxidativo al peróxido de hidrógeno en cuatro estudios, AAPH en tres de ellos; arseniato de sodio, etanol y tert-butil hidroperóxido en una ocasión.

Compuestos químicos

La investigación no siempre se trata de encontrar nuevos compuestos, también se puede dar un nuevo uso a los ya existentes, generalmente esto se analiza mediante la observación de posibles efectos secundarios en tratamientos o por las propiedades del compuesto, se infiere que presentan capacidades antioxidantes y antiinflamatorias, por lo que se recurre a su comprobación.

Estos compuestos fueron adquiridos a distintas casas químicas para su utilización, al haber mayor diversidad en su estructura y composición, por lo que se obtuvo un mayor margen en análisis, tiempos y condiciones.

Ciertos compuestos requirieron análisis de su composición o pureza, se usó HPLC en los trabajos de (Carrillo et al., 2016; Jia et al., 2018; Jiao et al., 2020), no se usó otro método general para analizar factores que infieran en la actividad antioxidante, siendo uno de los pocos tratamientos que sobresalieron el de (Rangasamy et al., 2018), que midió la concentración de ketoprofeno en el agua de los peces posterior a la inoculación del compuesto.

Los tiempos a los que se aplicaron los compuestos a los peces cebras fueron distintos, los de menor aplicación fueron ketoprofeno y resveratrol con 3 h.p.f, seguido por lisozima con 48 h.p.f, entre 5 a 7 d.p.f con abamectina, polietileno tereftalato, fluralano y MeO-PEG-b-PMOT (metoxi-poli(etilenglicol)-b-poli(4- [2,2,6,6-tetrametilpiperidina-1-oxil]oximetil estireno),

mientras que en los ensayos donde los peces tenían mayor edad se aplicó la ulexita con 14 d.p.f y vitamina E con 15 d.p.f, debido a que fue suministrada en la alimentación de los peces.

El agente para inducir estrés fue AAPH y peróxido de hidrógeno, solo en (Carrillo et al., 2016; Vong et al., 2016) mientras en los otros estudios no se reportó uso de agente oxidante.

Solo (Carrillo et al., 2016; Vong et al., 2016) (Boeri et al., 2020; Vong et al., 2016) reportaron mortalidad y dismorfogénesis mediante observación en microscopio, se reportó apoptosis en (Ren et al., 2020) mediante naranja de acridina, y (Jiao et al., 2020) mediante el Kit Jiancheng Nanjing. (Alak et al., 2021; Boeri et al., 2020; dos Santos et al., 2020) usaron el método con TBARS para peroxidación oxidativa, mientras (Rangasamy et al., 2018) usó fijación en placa y observación en microscopio para este fin.

Se evaluó la expresión de genes relacionados con la actividad antioxidante en los peces, mediante PCR en tiempo real, los genes que se buscó fueron *cyp1a*, *vtg*, y *β-actin*, *sod*, *cat*, *gpx*, *Nrf2*, *ho-1*, *nt10b*, *GSK-3β*, *PPARγ*, *β-catenin*, *gapdh* y *elfa*, estos análisis se realizaron en cinco de los estudios.

Se observó el uso de kits de Nanjing Jiancheng para evaluar la actividad de enzimas relacionadas a la capacidad antioxidante de los peces, basados en los siguientes principios:

Catalasa: espectroscopía del consumo de peróxido de hidrógeno

Superóxido dismutasa: formación de adenocromo por espectroscopía

Glutación peroxidasa: espectroscopía de la oxidación de NADPH (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato)

Glutación de s-transferasa: espectroscopia de la reducción de glutación por CDNB (2,4-dinitroclorobenceno)

Estos análisis se realizaron en ocho de los artículos de esta sección, además de otros específicos.

Otras fuentes

Si bien, las principales fuentes son las vegetales y sus derivados, se opta por técnicas novedosas para lograr efectos antioxidantes, una de ellas es la modificación genética para expresar genes que promueven la defensa contra agentes estresantes, como con el trabajo (Sant et al., 2018) que insertó el gen *Nrf2a* y posterior se analizó su expresión mediante

PCR, la mortalidad con observación mediante microscopio y la apoptosis con el método de naranja de acridina, también se realizó análisis *in vitro* como HPLC.

Las fuentes animales no son conocidas por producir antioxidantes ni antiinflamatorios, pero ciertas enzimas pueden ayudar a estos propósitos, como en el trabajo con lisozima de huevo de gallina realizado por (Carrillo et al., 2016), donde se aísla esta enzima y se proporciona al pez cebra a los 48 h.p.f, al ser una experiencia con pocos antecedentes se procedió a realizar varias concentraciones para identificar el comportamiento con este compuesto, además se realiza un HPLC y espectroscopía de masa para la composición de la sustancia administrada, se usó observación por microscopio para dimorfogénesis y mortalidad, mientras que el método TBARS para peroxidación lipídica en los peces, siendo estos métodos que se han visto en otras experiencias.

Además de propiedades antioxidantes, los metabolitos pueden proporcionar otros beneficios, siendo versátiles en su implementación, tal es el caso de los probióticos de liofilizado de *Lactobacillus rhamnosus* y *Bifidobacterium longum*, fueron suministrados en alimentos por 12 días, como se observó en otras experiencias con la misma forma de dosificación, los tiempos de exposición son elevados, se observó el comportamiento mediante fotografías y su movilidad, (Valcarce et al., 2019) hizo énfasis en la calidad de esperma para su posterior uso en reproducción, indicando lo polifacético que resultan los metabolitos.

Conclusiones

El pez cebra es un excelente modelo para el estudio de distintos tipos de metabolitos, como se observó se puede usar tanto para análisis preliminares de extractos, o de compuesto naturales y químicos ya aislados, incluso se llega a emplear ingeniería genética. El potencial de este modelo se ve en el efecto antioxidante y antiinflamatorio que se puede inducir fácilmente empleando agentes inductores, gracias a su rápido crecimiento y posible estudio en etapas tempranas de desarrollo (desde 1 h.p.f), además de sus características físicas como su piel transparente, lo que permite observar mediante microscopía el interior de estos animales y así observar efectos en sus órganos y desarrollo. La similitud del genoma con los humanos ha permitido que se analice mediante PCR varios genes relacionados a la capacidad antioxidante y antiinflamatoria, además de la expresión mediante Western blot de estos genes, para complementar los estudios *in vivo*, se desarrollan varios análisis químicos y de caracterización, como HPLC, DPPH, espectroscopía de masa, absorbancia, etc., permitiendo conocer el metabolito en su estructura y grupos funcionales. EL modelo

de pez cebra es de fácil manipulación y de costes moderados para su implementación, por lo que no requieren grandes espacios para su estudio; para el análisis de tejidos su eutanasia se realiza con anestesia y se homogeniza sus tejidos, con esto los ensayos enzimáticos se realizan sin inconvenientes, además que los tejidos se pueden conservar para otros análisis. La adaptabilidad del pez cebra a distintos metabolitos, la facilidad de manejo y la cercanía a los seres humanos en el genoma lo hace un candidato ideal para usarlo como modelo para análisis preclínicos de medicamentos y nuevos metabolitos.

Bibliografía

Acevedo Fernández, J. J., Angeles Chimal, J. S., Rivera, H. M., Petricevich López, V. L., Nolasco Quintana, N. Y., Collí Magaña, D. Y., & Santa-Olalla Tapia, J. (2013). Modelos in vitro para la evaluación y caracterización de péptidos bioactivos. In *Bioactividad de péptidos derivados de proteínas alimentarias* (pp. 29–82). OmniaScience. <https://doi.org/10.3926/oms.38>

Alak, G., Ucar, A., Parlak, V., Yeltekin, A. Ç., Özgeriş, F. B., Atamanalp, M., & Türkez, H. (2021). Antioxidant Potential of Ulexite in Zebrafish Brain: Assessment of Oxidative DNA Damage, Apoptosis, and Response of Antioxidant Defense System. *Biological Trace Element Research*, 199(3), 1092–1099. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02231-7>

Armas, D. (2016). 2016 Artículo Plantas Ciencia Unemi Echavarría 344-992-1-PB. 9, 29–35.

Arteaga, C., Boix, N., Teixido, E., Marizande, F., Cadena, S., & Bustillos, A. (2021). The zebrafish embryo as a model to test protective effects of food antioxidant compounds. *Molecules*, 26(19). <https://doi.org/10.3390/molecules26195786>

Arteaga, C., Bustillos, A., & Gómez-Catalán, J. (2020). Migración de neutrófilos en larvas de pez cebra expuestas a extractos de sofrito de tomate. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 70(3), 182–190. <https://doi.org/10.37527/2020.70.3.004>

Boeri, P., Piñuel, L., Dalzotto, D., Monasterio, R., Fontana, A., Sharry, S., Barrio, D. A., & Carrillo, W. (2020). Argentine Patagonia barberry chemical composition and evaluation of its antioxidant capacity. *Journal of Food Biochemistry*, 44(7), 1–11. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13254>

Camacho-Escobar, M. A., Ramos-Ramos, D. A., Ávila-Serrano, N. Y., Sánchez-Bernal, E. I., & López- Garrido, S. J. (2020). The physico-chemical plant defenses and its effect on ruminant feeding. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 443–453. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V38I2.629>

Camacho-Romero, O. I., Melgarejo-Gómez, S., & De-la-Rosa-Torres, C. (2017). Extracción y evaluación de los metabolitos secundarios de extractos etéreos del fruto *Syzygium cumini* (Jambol). *Revista Tecnología En Marcha*, 30(1), 113. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i1.3090>

Carrillo, W., Gómez-Ruiz, J. A., Miralles, B., Ramos, M., Barrio, D., & Recio, I. (2016). Identification of antioxidant peptides of hen egg-white lysozyme and evaluation of inhibition of lipid peroxidation and cytotoxicity in the Zebrafish model. *European Food Research and Technology*, 242(10), 1777–1785. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2677-1>

Castro, G. D. (2013). Dependencia de la dosis en los mecanismos de toxicidad y la evaluación de riesgo en toxicología. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 47(3), 561–585.

Cho, S. H., Heo, S. J., Yang, H. W., Ko, E. Y., Jung, M. S., Cha, S. H., Ahn, G., Jeon, Y. J., & Kim, K. N. (2019). Protective effect of 3-Bromo-4,5-dihydroxybenzaldehyde from polysiphonia *morrowii* harvey against hydrogen peroxide-induced oxidative stress in Vitro and in Vivo. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29(8), 1193–1203. <https://doi.org/10.4014/JMB.1904.04062>

Cholan, P. M., Han, A., Woodie, B. R., Watchon, M., Kurz, A. R. M., Laird, A. S., Britton, W. J., Ye, L., Holmes, Z. C., McCann, J. R., David, L. A., Rawls, J. F., & Oehlers, S. H. (2020). Conserved anti-inflammatory effects and sensing of butyrate in zebrafish. *Gut Microbes*, 12(1), 1–11. <https://doi.org/10.1080/19490976.2020.1824563>

dos Santos, M. M., de Macedo, G. T., Prestes, A. S., Ecker, A., Müller, T. E.,
Leitemperger, J., Fontana, B.

D., Ardisson-Araújo, D. M. P., Rosemberg, D. B., & Barbosa, N. V. (2020). Modulation of redox and insulin signaling underlie the anti-hyperglycemic and antioxidant effects of diphenyl diselenide in zebrafish. In *Free Radical Biology and Medicine* (Vol. 158). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.06.002>

Endo, Y., Muraki, K., Fuse, Y., & Kobayashi, M. (2020). Evaluation of antioxidant activity of spice-derived phytochemicals using zebrafish. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(3). <https://doi.org/10.3390/ijms21031109>

Escobedo-Moratilla, Abraham; Barba de la Rosa, Ana Paulina; Pérez-Urizar, J. (2015). Modelos preclínicos in vitro e in vivo para la evaluación de la actividad biológica en estudios de biocomparabilidad. *Gaceta Médica de México*, 151, 377–386.

Espinosa, M. B. (2016). El Pez Cebra: una herramienta en educación The Zebrafish : A Tool in Education Resumen Introducción. *Revista de Educación En Biología*, 19(1), 11–18.

Fina, B. L., Lombarte, M., & Rigalli, A. (2013). Research a natural phenomenon: Studies in vivo, in vitro or in silico? | Investigación de un fenómeno natural: Estudios in vivo, in vitro o in silico? *Actualizaciones En Osteología*, 9(3), 294–299.

Hanachi, P., Kazemi, S., Zivary, S., Karbalaeei, S., & Abolghasem Ghadami, S. (2021). The effect of polyethylene terephthalate and abamectin on oxidative damages and expression of vtg and cyp1a genes in juvenile zebrafish. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 16(April), 100565. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100565>

Issac, P. K., Guru, A., Velayutham, M., Pachaiappan, R., Arasu, M. V., Al-Dhabi, N. A., Choi, K. C.,

Harikrishnan, R., & Arockiaraj, J. (2021). Oxidative stress induced antioxidant and neurotoxicity demonstrated in vivo zebrafish embryo or larval model and their normalization due to morin showing therapeutic implications. *Life Sciences*, 283(May), 119864. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2021.119864>

Jayawardena, T. U., Wang, L., Asanka Sanjeewa, K. K., In Kang, S., Lee, J. S., & Jeon, Y. J. (2020).

Antioxidant potential of sulfated polysaccharides from padina boryana; protective effect against oxidative stress in in vitro and in vivo zebrafish model. *Marine Drugs*, 18(4), 1–14. <https://doi.org/10.3390/md18040212>

Jia, Z. Q., Liu, D., Sheng, C. W., Casida, J. E., Wang, C., Song, P. P., Chen, Y. M., Han, Z. J., & Zhao, C.

Q. (2018). Acute toxicity, bioconcentration, elimination and antioxidant effects of fluralaner in zebrafish, *Danio rerio*. *Environmental Pollution*, 232, 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.09.032>

Jiao, Y., Tao, Y., Yang, Y., Diogene, T., Yu, H., He, Z., Han, W., Chen, Z., Wu, P., & Zhang, Y. (2020).

Monobutyl phthalate (MBP) can dysregulate the antioxidant system and induce apoptosis of zebrafish liver. *Environmental Pollution*, 257, 113517. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113517>

Kang, M. C., Cha, S. H., Wijesinghe, W. A. J. P., Kang, S. M., Lee, S. H., Kim, E. A., Song, C. B., & Jeon, Y. J. (2013). Protective effect of marine algae phlorotannins against AAPH-induced oxidative stress in zebrafish embryo. *Food Chemistry*, 138(2–3), 950–955. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.005>

Kang, M. C., Kim, K. N., Kang, S. M., Yang, X., Kim, E. A., Song, C. B., Nah, J. W., Jang, M. K., Lee, J.

S., Jung, W. K., & Jeon, Y. J. (2013). Protective effect of dieckol isolated from *Ecklonia cava* against ethanol caused damage in vitro and in zebrafish model. *Environmental*

Toxicology and Pharmacology, 36(3), 1217–1226.
<https://doi.org/10.1016/j.etap.2013.09.018>

Kettleborough, R. N. W., Busch-Nentwich, E. M., Harvey, S. A., Dooley, C. M., de Bruijn, E., van Eeden, F., Sealy, I., White, R. J., Herd, C., Nijman, I. J., Fényes, F., Mehroke, S., Scahill, C., Gibbons, R., Wali, N., Carruthers, S., Hall, A., Yen, J., Cuppen, E., & Stemple, D. L. (2013). A systematic genome-wide analysis of zebrafish protein-coding gene function. *Nature*, 496(7446), 494–497. <https://doi.org/10.1038/nature11992>

Kim, H. S., Wang, L., Fernando, I. P. S., Je, J. G., Ko, S. C., Kang, M. C., Lee, J. M., Yim, M. J., Jeon, Y.

J., & Lee, D. S. (2020). Antioxidant efficacy of (–)-loliolide isolated from *Sargassum horneri* against AAPH-induced oxidative damage in Vero cells and zebrafish models in vivo. *Journal of Applied Phycology*, 32(5), 3341–3348. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02154-9>

Lawrence, C. (2007). The husbandry of zebrafish (*Danio rerio*): A review. *Aquaculture*, 269(1–4), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.04.077>

Liu, D., Yu, H., & Zhang, Q. (2020). Dietary vitamin e regulates the activity of antioxidant enzymes through Wnt10b signaling in the muscle of zebrafish. *Food and Function*, 11(12), 10665–10674. <https://doi.org/10.1039/d0fo02083d>

Moctezuma Viera, K. R. (2020). Utilización de animales en la investigación biomédica y médica. *Revista Iberoamericana de Bioética*, 12, 01–19. <https://doi.org/10.14422/rib.i12.y2020.011>

Mohamad Shariff, N. F. S., Singgampalam, T., Ng, C. H., & Kue, C. S. (2020). Antioxidant activity and zebrafish teratogenicity of hydroalcoholic *Moringa oleifera* L. leaf extracts. *British Food Journal*, 122(10), 3129–3137. <https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2020-0113>

Nguyen, T. H., Le, H. D., Kim, T. N. T., The, H. P., Nguyen, T. M., Cornet, V., Lambert, J., & Kestemont, P. (2020). Anti-inflammatory and antioxidant properties of the ethanol extract of *Clerodendrum cyrtophyllum turcz* in copper sulfate-induced inflammation in zebrafish. *Antioxidants*, 9(3), 1–20. <https://doi.org/10.3390/antiox9030192>

Perumal, S., Gopal Samy, M. V., & Subramanian, D. (2021). Developmental toxicity, antioxidant, and marker enzyme assessment of swertiamarin in zebrafish (*Danio rerio*). *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 35(9). <https://doi.org/10.1002/jbt.22843>

Poornima, S., Nagarjun, N., Ponmurugan, P., Gnanamangai, B. M., & Narasimman, S. (2019). Toxicity and anti-inflammatory study of *Parmotrema austrosinense* extract against oxozalone induced intestinal inflammation in zebrafish (*Danio rerio*) model. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21, 101278. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101278>

Pradeep, P. S., Manisha, S., Monica Amala Nayaki, J., Sivaraman, D., Selvaraj, R., & Seeni, S. (2019). Potential antioxidant and anti-inflammatory action of *Hypericum hookerianum* extracts in a liposome system evaluated with zebrafish embryos. *Journal of Microencapsulation*, 36(6), 513–522. <https://doi.org/10.1080/02652048.2019.1631400>

Rajasekar, P., Palanisamy, S., Anjali, R., Vinosha, M., Elakkiya, M., Marudhupandi, T., Tabarsa, M., You, S. G., & Prabhu, N. M. (2019). Isolation and structural characterization of sulfated polysaccharide from *Spirulina platensis* and its bioactive potential: In vitro antioxidant, antibacterial activity and Zebrafish growth and reproductive performance. *International Journal of Biological Macromolecules*, 141, 809–821. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.024>

Rangasamy, B., Hemalatha, D., Shobana, C., Nataraj, B., & Ramesh, M. (2018). Developmental toxicity and biological responses of zebrafish (*Danio rerio*) exposed to anti-inflammatory drug ketoprofen. In *Chemosphere* (Vol. 213). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.013>

Ren, F., Huang, Y., Tao, Y., Ji, C., Aniagu, S., Jiang, Y., & Chen, T. (2020). Resveratrol protects against PM2.5-induced heart defects in zebrafish embryos as an antioxidant rather than as an AHR antagonist. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 398, 115029. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2020.115029>

Roberto, V. P., Surget, G., Le Lann, K., Mira, S., Tarasco, M., Guérard, F., Poupart, N., Laizé, V., Stiger-Pouvreau, V., & Cancela, M. L. (2021). Antioxidant, Mineralogenic

and Osteogenic Activities of *Spartina alterniflora* and *Salicornia fragilis* Extracts Rich in Polyphenols. *Frontiers in Nutrition*, 8(August), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.719438>

Saeidnia, S., Manayi, A., & Abdollahi, M. (2016). From in vitro Experiments to in vivo and Clinical Studies; Pros and Cons. *Current Drug Discovery Technologies*, 12(4), 218–224. <https://doi.org/10.2174/1570163813666160114093140>

Sant, K. E., Sinno, P. P., Jacobs, H. M., & Timme-Laragy, A. R. (2018). Nrf2a modulates the embryonic antioxidant response to perfluorooctanesulfonic acid (PFOS) in the zebrafish, *Danio rerio*. *Aquatic Toxicology*, 198, 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.02.010>

Udaya, S., Babu, N., Nanjappa, D. P., Kalladka, K., Chakraborty, G., & Chakraborty, A. (2020). Evaluation of Toxicity and Antioxidant Property of *Cassia fistula* Stem Bark Extracts in Zebrafish. *Journal of Health and Allied Sciences NU*, 10(3), 109–115. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1715995>

Valcarce, D. G., Riesco, M. F., Martínez-Vázquez, J. M., & Robles, V. (2019). Diet supplemented with antioxidant and anti-inflammatory probiotics improves sperm quality after only one spermatogenic cycle in zebrafish model. *Nutrients*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/nu11040843>

Vong, L. B., Kobayashi, M., & Nagasaki, Y. (2016). Evaluation of the toxicity and antioxidant activity of redox nanoparticles in zebrafish (*Danio rerio*) embryos. In *Molecular Pharmaceutics* (Vol. 13, Issue 9). <https://doi.org/10.1021/acs.molpharmaceut.6b00225>

Wang, W., & Liu, J. (2020). Efficient extraction, antioxidant activities and anti-inflammation of polysaccharides from *Notopterygium franchetii* Boiss. *Carbohydrate Polymers*, 248, 116783. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116783>

White, R. M., Sessa, A., Burke, C., Bowman, T., LeBlanc, J., Ceol, C., Bourque, C., Dovey, M., Goessling, W., Burns, C. E., & Zon, L. I. (2008). Transparent Adult Zebrafish as a Tool for In Vivo Transplantation Analysis. *Cell Stem Cell*, 2(2), 183–189. <https://doi.org/10.1016/j.stem.2007.11.002>

Xia, G., Li, X., Zhang, Z., & Jiang, Y. (2021). Effect of food processing on the antioxidant activity of flavones from *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce. *Open Life Sciences*, 16(1), 92–101. <https://doi.org/10.1515/biol-2021-0010>

Manejo de antibióticos en infecciones intraabdominales bajo la perspectiva de la resistencia a los antimicrobianos en el servicio de cirugía del Hospital General de Latacunga

Management of antimicrobials in intra-abdominal infections under the perspective of antimicrobial resistance in the surgery service of the General Hospital of Latacunga

Jesús Onorato Chicaiza Tayupanta¹, Diana Cristina Chicaiza Quishpe²

¹Hospital General de Latacunga, Ecuador, jesuschicaiza50@gmail.com

²Instituto Nacional de Perinatología, México, dcristina006@hotmail.com

DOI: <https://doi.org/10.31243/id.v16.2022.1833>

Resumen

El desarrollo de la resistencia a los antimicrobianos en las infecciones intraabdominales requiere de un especial cuidado en la selección del esquema antibiótico para tratarlas. Objetivo: Nos proponemos revisar los esquemas de antibióticos primario y secundario utilizados en un servicio de cirugía bajo la perspectiva de la resistencia a los antimicrobianos. Materiales y métodos: se realizaron 165 cultivos en igual número de pacientes intervenidos quirúrgicamente por infecciones intraabdominales en un Hospital de II nivel de atención de los cuales 134 desarrollaron especies de enterobacterias, 47 sensibles a los antimicrobianos y 87 resistentes en algún grado a antibióticos disponibles. Resultados: El esquema antibiótico primario incluyó los siguientes antibióticos: ceftriaxona/metronidazol 75,37%, Ampicilina/sulbactam 17,91%, ceftriaxona (sola), 2,99%, ciprofloxacina/metronidazol, 2,24% y ampicilina/metronidazol 1,49%. Las enterobacterias identificadas fueron en orden de frecuencia: fue E. coli (79%), K. neumonía (10%), P. aeruginosa (5%), P. vulgaris (4%), otras enterobacterias menos frecuentes fueron, C. freundii y E. cloacale. (2%), K. oxitoca, hafnia A, K. ozonea y S. marcenses menos de 2%. La

resistencia de las Enterobacteriaceas: un 89,76% a la Ampicilina, 66,14% a la cefalotina y 66,20% a las sulfas. En cuanto a la E. coli los porcentajes de resistencia fueron los siguientes: Ampicilina 89,62%, Cefalotina 62,26%; Mayor sensibilidad a: Aminoglicosidos 85,85%, Ciprofloxacina 66,04%, con porcentajes de sensibilidad bajos a las Cefalosporinas de tercera generación (63 a 67%). Al imipenem se mantiene altos niveles de sensibilidad (97,71% y 99,6%). Se cambió en un 40% de casos a un nuevo esquema antibiótico que representó los siguientes porcentajes: Ceftriaxona/metronidazol en 20 pacientes (35,71%), seguido al esquema Piperacilina/tazobactam en 10 pacientes (17,86%), a Imipenem en 7 pacientes (12,5%) y en menores porcentajes a varios antimicrobianos identificados como efectivos en el tratamiento por los niveles de sensibilidad por las enterobacterias identificadas. La estancia hospitalaria estuvo en un promedio de 12,63 días, las complicaciones se presentaron en 34% de los pacientes y la mortalidad global en 15,67%. Conclusiones: en hospitales de II nivel en el Ecuador el esquema antimicrobiano primario puede ser la combinación de ceftriaxona/meronidazol, aunque en casos seleccionados podría asociarse un aminoglicosido/metronidazol. Es conveniente reservar esquemas antibióticos con carbapenémicos (imepenem) para casos con resistencia a los antimicrobianos del tipo PDR.

Palabras clave:

Antifecciosos, Programas de Optimización del Uso de los Antimicrobianos, Infecciones Intraabdominales

Abstract

The development of resistance to antimicrobials in intra-abdominal infections requires special care in the selection of the antibiotic scheme to treat them. Objective: We intend to review the primary and secondary antibiotic schemes used in a surgery service from the perspective of antimicrobial resistance. Materials and methods: 165 cultures were performed in the same number of patients who underwent surgery for intra-abdominal infections in a level II hospital, of which 134 developed species of enterobacteria, 47 sensitive to antimicrobials and 87 resistant to some degree to available antibiotics. Results:

The primary antibiotic scheme included the following antibiotics: ceftriaxone/metronidazole 75.37%, Ampicillin/sulbactam 17.91%, ceftriaxone (alone), 2.99%, ciprofloxacin/metronidazole, 2.24% and ampicillin/metronidazole 1.49%. The enterobacteria identified were in order of frequency: it was E. coli (79%), K. pneumonia (10%), P. aeruginosa (5%), P. vulgaris (4%), other less frequent enterobacteria were, C. freundii and E. cloacae.(2%), K. oxytoca, hafnia A, K. ozonea and S. marcescens less than 2%. Enterobacteriaceae resistance: 89.76% to Ampicillin, 66.14% to cephalothin and 66.20% to sulfa drugs. Regarding E. coli, the percentages of resistance were the following: Ampicillin 89.62%, Cefalothin 62.26%; Greater sensitivity to: Aminoglycosides 85.85%, Ciprofloxacin 66.04%, with low percentages of sensitivity to third generation Cephalosporins (63 to 67%). They maintain high levels of sensitivity to imipenem (97.71% and 99.6%). In 40% of cases, a new antibiotic scheme was changed, which represented the following percentages: ceftriaxone/metronidazole in 20 patients (35.71%), followed by the piperacillin/tazobactam scheme in 10 patients (17.86%), Imipenem in 7 patients (12.5%) and, in lower percentages, several antimicrobials identified as effective in the treatment due to the sensitivity levels for the identified enterobacteria. Hospital stay was an average of 12.63 days, complications occurred in 34% of patients and overall mortality in 15.67%. Conclusions: in level II hospitals in Ecuador, the primary antimicrobial scheme may be the combination of ceftriaxone/meronidazole, although in selected cases an aminoglycoside/metronidazole could be associated. It is convenient to reserve antibiotic schemes with carbapenems (imepenem) for cases with resistance to antimicrobials of the PDR type.

Keywords:

Anti-Infective Agents, Antimicrobial Stewardship, Intraabdominal Infections

Introducción

El manejo de los antimicrobianos como parte del tratamiento de las infecciones intraabdominales conjuntamente con el soporte vital y la intervención quirúrgica enfrenta un desafío en cuanto a que debe ser lo suficientemente y fuerte para que sea efectivo como al mismo tiempo selectivo para evitar el desarrollo de la resistencia a los antimicrobianos Chicaiza (2021).

Por este motivo se implementa dos fases del tratamiento antimicrobiano: la primera, basada en la flora microbiana en sospecha por el hábitat conocido y la segunda fase por los resultados de los cultivos y estudios de sensibilidad y resistencia a los antimicrobianos.

Nos proponemos analizar las estrategias tomadas en el Servicio de cirugía del Hospital General de Latacunga en la selección de los antimicrobianos para cumplir con este doble fin: vencer las infecciones intraabdominales y evitar el desarrollo de resistencias a los antimicrobianos.

Espectro de especies bacterianas y características de sensibilidad y resistencia en las infecciones intraabdominales.

Diversos estudios ubican a la *E. coli* (60 % a 70%) como el patógeno más frecuente presente en la IIAs, seguida por la *K. pneumoniae*, (8% a 10%) *P. aeruginosa*, otras especies de *Klebsiella*, *Proteus* en menores porcentajes. (6,7,8,9). Además, se encuentran aislados productores de Betalactamasa de espectro extendido (BLEE). En estos mismos estudios se evidenció elevados porcentajes de resistencia a amikacina, amoxicilina/clavulánico, piperacilina/tzobactam, fluroquinolonas Chicaiza (2021), Abajo (2019).

Objetivo:

Evaluar la correspondencia de los antibióticos utilizados en la primera fase de tratamiento empírico con los resultados de los estudios bacteriológicos de sensibilidad y resistencia:

Material y Métodos

Se utilizó la base de datos matriz del estudio “Enterobacterias resistentes a los antimicrobianos en la evolución de las infecciones intraabdominales” misma que incluyó los resultados clínicos, epidemiológicos y bacteriológicos de 165 pacientes sometidos a intervenciones quirúrgicas por infecciones intraabdominales en el Servicio de cirugía del Hospital General de Latacunga (Ecuador) de los cuales 87 desarrollaron cultivos positivos para enterobacterias

resistentes a los antimicrobianos y 47 desarrollaron enterobacterias sensibles a los antimicrobianos.

De esta matriz se obtuvo los datos de las siguientes variables:

Órgano inicial de la Infección intraabdominal

Especies de enterobacterias identificadas en los cultivos

Esquemas de antibióticos utilizados en la primera fase

Perfil de resistencia a los antimicrobianos en las especies de enterobacterias.

Esquemas antimicrobianos utilizados en la segunda fase

Resultados

Órgano primario de la infección

El foco primario de la infección estuvo en los siguientes órganos en orden de frecuencia: apéndice cecal 72,39%, vías biliares 8,96%, intestino delgado 7,46%, colon 4,48%, páncreas 4,48%, hígado 1,49%, estómago 0,75%.

Esquema antimicrobiano de la primera fase: el tratamiento antimicrobiano empírico (antes de los resultados de cultivos y pruebas de sensibilidad en los 165 pacientes del estudio incluyó en orden de frecuencia las siguientes combinaciones: ceftriaxona/metronidazol 75,37%, Ampicilina/sulbactam 17,91%, ceftriaxona (sola), 2,99%, ciprofloxacina/metronidazol, 2,24% y ampicilina/metronidazol 1,49%.

Especies de bacterias identificadas: las bacterias identificadas en orden de frecuencia fueron: fue *E. coli* (79%), *K. neumonía* (10%), *P. aeruginosa* (*se incluyó en el estudio a *P. aeruginosa* por su importancia en las infecciones de origen hospitalario), (5%) *P. vulgaris* (4%), otras enterobacterias menos frecuentes fueron, *C. freundii* y *E. cloacale*. (2%), *K. oxitoca*, *hafnia A*, *K. ozonea* y *S. marcescens* menos de 2%.



Sensibilidad y resistencia a los antimicrobianos

En la tabla 2 se muestra la resistencia de las Enterobacteriaceas: un 89,76% a la Ampicilina, 66,14% a la cefalotina y 66,20% a las sulfas. En cuanto a la E. coli los porcentajes de resistencia son los siguientes: Ampicilina 89,62%, Cefalotina 62,26%; Mayor sensibilidad a: Aminoglicosidos 85,85%, Ciprofloxacina 66,04%, con porcentajes de sensibilidad bajos a las Cefalosporinas de tercera generación (63 a 67%). Al imipenem mantienen altos niveles de sensibilidad (97,71% y 99,6%)

Tabla 1. Porcentajes de sensibilidad y resistencia a los antibacterianos.

	ENTEROBACTERIAS		ESCHERICHIA COLI		KLEBSIELLA NEUMONIAE	
	SENSIBI	RESIST	SENSIBIL	RESISTENCIA	SENSIBLID	RESISTEN
GENTA/AMIKA	83,33%	16,67%	85,85%	14,15%	70,00%	30,00%
CIPRO	61,36%	38,64%	66,04%	33,96%	30,00%	70,00%
STX	37,80%	62,20%	39,62%	60,38%	20,00%	80,00%
AMP	10,24%	89,76%	10,38%	89,62%	10,00%	90,00%
AMX/C	48,03%	51,97%	52,83%	47,17%	30,00%	70,00%
KF	33,86%	66,14%	33,74%	62,26%	10,00%	90,00%
CEFUROX	57,48%	42,52%	63,21%	36,79%	20,00%	80,00%
CEFTRIAX	58,59%	41,41%	65,09%	34,91%	20,00%	80,00%
CEFTAZIDIME	60,61%	39,39%	66,04%	33,96%	20,00%	80,00%
CEFEPIME	63,08%	36,92%	67,62%	32,38%	100,00%	0,00%
IMIPEMEN	97,71%	2,29%	99,06%	0,94%	80,00%	20,00%
n=	134		107		10	

Fuente: Base de datos estudio “Enterobacterias resistentes a los antimicrobianos en la evolución clínica de las Infecciones intraabdominales”

Elaboración: Autores

Cambio de esquema de tratamiento: de los 143 pacientes que desarrollaron enterobacterias en los cultivos en (40%), se realizó cambios en el esquema antimicrobiano fundamentado en los estudios de sensibilidad y resistencia.

Tabla 2. Esquemas antimicrobianos utilizados en la fase 2 (definitivos)

DEFINITIVO	Frequency	Percent
AMPI/SUBL	1	1,79%
AMPIC/METRO	2	3,57%
CEFEPIME	1	1,79%
CEFEPIME/AMIKA	1	1,79%
CEFT/MET/AMIKA	1	1,79%
CEFTRIA/METRO	20	35,71%
CIPRO/METRO	5	8,93%
CIPROFLOXACINA	2	3,57%
CRFTIAX/CLINDA	1	1,79%
IMIPEMEN	7	12,50%
LEVETIRAZ/CLINDA	1	1,79%
LEVETIRAZETAM	1	1,79%
MEROPENEM	3	5,36%
PIP/TAZ	10	17,86%
TOTAL	56	100,00%

Fuente: Base de datos estudio “Enterobacterias resistentes a los antimicrobianos en la evolución clínica de las Infecciones intraabdominales”

Elaboración: Autores

Con mayor frecuencia se cambió al esquema Ceftriaxona/metronidazol en 20 pacientes (35,71%), seguido al esquema Piperacilina/tazobactam en 10 pacientes (17,86%), a Imipenem en 7 pacientes (12,5%) y en menores porcentajes a varios antimicrobianos identificados como efectivos en el tratamiento por los niveles de sensibilidad por las enterobacterias identificadas.

Discusión

Órgano inicial de la infección intraabdominal: la distribución por órganos como fuente inicial de las infecciones intrabdominales en la que predomina el apéndice cecal (72,37%) seguida por las vías biliares (8,96%) e intestino delgado (7,46%) corresponde al espectro de patologías que acuden a un Servicio de Cirugía de un Hospital de segundo nivel como corresponde al Hospital General de Latacunga Chicaiza (2021), Camou (2017).

Especies de enterobacterias identificadas en los pacientes con infecciones intraabdominales: los hallazgos en el HGL concuerdan con otros resultados de estudios similares realizados por otros investigadores, tales como, Germer, Amelia, Coccolini y Shree, en los que *E. coli* es la enterobacteria predominante seguida de *K. neumonía*, *Enterobacter*, *Hafnia* y otras Chicaiza (2021), Lazovski (2018).

En el estudio que desarrollamos, se encontró un elevado porcentaje de *E. coli* resistente (64,93%) en comparación a otros estudios

Esquema antibiótico empírico: el esquema antimicrobiano utilizado en la fase empírica que incluyo mayoritariamente ceftriaxona/metronidazol en consideración con los gérmenes más frecuentemente encontrados: *E. coli* y *K. penumoniae* considerando además que *B. fragilis* es considerado siempre como germen anaerobio habitualmente asociado en las infecciones intraabdominales. Se ha tomado en consideración que la *E. coli* presenta resistencia a las ampicilinas, sulfas y cefalorposrinas de 1ra generación, sim embargo de acuerdo a los estudios de sensibilidad y resistencia una alternativa sería utilizar un

aminoglucosido o una quinolona para los cuales mantiene un buen porcentaje de sensibilidad (85,85% y 66,04%) Chicaiza (2021), Chávez-Jacobo (2020).

Patrones de susceptibilidad y resistencia a los agentes antimicrobianos de las Enterobacterias aisladas en los casos de infecciones abdominales estudiados

Con respecto a la clasificación en subcategorías de resistencia, constituye un recurso, para monitorizar el avance en desarrollo de resistencia a un mayor número de grupos de antibióticos, la identificación de las cepas productoras de betalactamasa de espectro extendido (BLEE) y Carbapenemasas (KPC), las cuales alertan hacia un mayor riesgo de cepas de difícil manejo antimicrobiano por resistencias, y a la necesidad de implementar medidas de contención de la expansión de resistencia antimicrobiana por mecanismos de traslación de cepas con estas características (5,7). La presencia de un 32 % de cepas de E. coli productoras de BLEE fue significativa y se considera debida a una inadecuada prescripción y uso de cefalosporinas de tercera generación Chicaiza (2021), Rondón (2017).

Por otro lado, la E. coli fue la especie mayoritaria en el perfil microbiológico de las IASs del Servicio de Cirugía del HGL, categorizada como sensible a los antimicrobianos en un 37,14%, lo que equivale a decir que el 72% se categorizó como resistente a los antimicrobianos disponibles en el Cuadro Básico de Medicamentos, todo lo cual ya constituye un motivo de alerta para la selección de antibióticos, tanto en la primera fase de terapéutica empírica (de primera elección) como luego de tener los resultados de los estudios de sensibilidad y resistencia a los antimicrobianos. Sumado a esto, el 32% de cultivos que desarrollaron E. coli fueron cepas productoras de Betalactamasa de espectro extendido. El segundo lugar en la identificación de las especies de enterobacterias causantes de infecciones intraabdominales fue la K. pneumoniae en 10%, todas mostraron resistencia a los antimicrobianos, con 6% de cepas productoras de BLEE y 2% de productoras de Carbapenemasas. Lo cual también constituye una alerta ante el desarrollo de gérmenes productores de esta enzima capaz de inhabilitar a un mayor grupo de antimicrobianos, por lo cual exige adoptar medidas que eviten la transmisión por medio de plásmidos Hernández-Gómez (2019), Chicaiza (2021).

De manera general las enterobacterias aisladas en los cultivos de los pacientes con Infecciones intraabdominales en el HPGL presentaron resistencia a las ampicilinas (89,76%) en un porcentaje muy elevado, lo cual las descarta en la prescripción de tratamiento empírico y sólo pudieran ser utilizadas como parte del esquema definitivo únicamente en 10% de los pacientes Cabral (2018), Chicaiza (2021). Presentan un elevado porcentaje de sensibilidad (83,3%) a los aminoglucósidos, tales como la gentamicina y amikacina, que sí deberían ser utilizados como parte de la prescripción empírica, aunque probablemente los riesgos de nefro y ototoxicidad limitarían su utilización, pero debería valorarse en aquellos pacientes de bajo riesgo con ajuste de dosis. Por otro lado, la ciprofloxacina representó también una alternativa terapéutica, con un porcentaje de sensibilidad elevado (61%). Las cefalosporinas de primera, segunda y tercera generación, mostraron un significativo porcentaje de resistencia antimicrobiana que osciló del 33,93% al 66,14%, lo cual se corresponde con un porcentaje significativo de cepas productoras de BLEE (38%), cifra mayor que en el estudio SMART (8,7%); sin embargo exhibió un bajo porcentaje de cepas productoras de Carbapenemasas, las cuales complican los tratamientos antimicrobianos de las IASS, alcanzando cifras del 3% Silva (2018), Chicaiza (2021).

Se observó además que el 78% de los pacientes recibió Ceftriaxona como parte del esquema terapéutico empírico, siendo resistentes a este antibiótico hasta el 40% de las cepas aisladas; en cambio, la utilización de gentamicina o amikacina que representan un menor porcentaje de resistencia, sólo fue 16,67%. (2,3). Vale destacar, que el esquema terapéutico más utilizado incluyó la ceftriaxona lo que incide en el desarrollo de resistencia bacteriana, aparición de cepas productoras de BLEE y KPC, por lo cual, considerando la evidencia aportada por el perfil de resistencia y sensibilidad de nuestro estudio, se recomendaría iniciar con un esquema de antibioticoterapia empírica que incluya un aminoglucósido y metronidazol Sosa-Hernández (2020). Chicaiza (2021).

Entre las Enterobacterias identificadas hay altos porcentajes de resistencia a cefalosporinas de tercera y cuarta generación (50% y 60%), debido en gran medida a la producción de Betalactamasas de Espectro Extendido (BLEE) por las mismas. La *K. pneumoniae* aislada, mostró resistencia a los carbapenémicos (penemas) con un perfil de multiresistencia, que sugiere se trate de cepas

productoras de carbapenemasa del tipo KPC. La *P. aeruginosa* mostró resistencia a las cefalosporinas y carbapenémicos, por la presencia de una carbapenemasa del tipo Metalobetalactamasa Chicaiza (2021).

Esquema antibiótico utilizados en la segunda fase: el cambio en el esquema de tratamiento antimicrobiano luego de tener los resultados de los cultivos y estudios de sensibilidad fue necesario en un 40% y responde a la necesidad de adecuar los esquemas a los resultados microbiológicos con la finalidad de garantizar un efecto positivo en el tratamiento y evitar el desarrollo de resistencias a los antimicrobianos.

Finalmente se destaca que la estancia hospitalaria estuvo en un promedio de 12,63 días, las complicaciones se presentaron en 34% de los pacientes y la mortalidad global en 15,67%.

Conclusiones

En hospitales de II nivel en el Ecuador el esquema antimicrobiano primario puede ser la combinación de ceftriaxona/meronidazol, aunque en casos seleccionados podría asociarse un aminoglucosido/metronidazol. Es conveniente reservar esquemas antibióticos con carbapenémicos (imepemem) para casos con resistencia a los antimicrobianos del tipo PDR.

Agradecimientos

A la Universidad Técnica de Ambato, a la Universidad del Zulia y a la Tesis Doctoral "Enterobacterias resistentes a los antimicrobianos en la evolución clínica de las infecciones intrabdominales"

Referencias bibliográficas

Abajo, BM, & Barrena, IR (2019). Tuberculosis abdominal y otras infecciones raras intrabdominales. *Fundamentos de la infección en cirugía digestiva*, dialnet.unirioja.es, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7262892>

Bisso-Andrade, A (2018). Resistencia a los antimicrobianos. *Revista de la Sociedad Peruana de Medicina Interna*, 51.79.48.69, <http://51.79.48.69/index.php/spmi/article/view/32>

Cabral, LG, Meneses, JP de (2018). Racionalização de antimicrobianos em ambiente hospitalar. *Revista da Sociedade Brasileira Clínica Médica*, sbcm.org.br, <http://www.sbcm.org.br/ojs3/index.php/rsbcm/article/view/330>

Camou, T, Zunino, P, & Hortal, M (2017). Alarma por la resistencia a antimicrobianos: situación actual y desafíos. *Revista Médica del Uruguay*, scielo.edu.uy, http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S1688-03902017000400104&script=sci_arttext&tlng=pt

Chávez-Jacobo, VM (2020). La batalla contra las superbacterias: No más antimicrobianos, no hay ESKAPE. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, scielo.org.mx, http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-888X2020000100201&script=sci_arttext

Chicaiza-Taypanta, JO (2021). Enterobacterias multirresistentes en infecciones intrabdominales. *Investigación Clínica*, researchgate.net, https://www.researchgate.net/profile/Yenddy-Carrero/publication/357188319_Relacion_entre_las_estrategias_de_afrontamie

[nto del stress sostenido y respuesta inmune en estudiantes de medicina/inks/61c11036fd2cbd7200b62a33/Relacion-entre-las-estrategias-de-afrontamiento-del-stress-sostenido-y-respuesta-inmune-en-estudiantes-de-medicina.pdf#page=207](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0716-10182019000500565&script=sci_arttext)

Hernández-Gómez, C, Hercilla, L, Mendo, F (2019). Programas de optimización del uso de antimicrobianos en Perú: Un acuerdo sobre lo fundamental. *Revista chilena de Infectología*, SciELO Chile, https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0716-10182019000500565&script=sci_arttext

Lazovski, J, Corso, A, Pasteran, F (2018). Estrategia de control de la resistencia bacteriana a los antimicrobianos en Argentina. *Revista Panamericana de Salud Pública*, SciELO Public Health, <https://www.scielosp.org/article/rpsp/2017.v41/e88/es/>

Rondón, Y Rodríguez, Prosper, C Pantoja (2017). Prescripción de antimicrobianos y su relación con la resistencia bacteriana en un hospital general municipal. *Medisan*, scielo.sld.cu, http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1029-30192017000500004&script=sci_arttext&lng=en

Silva, MO da, & Aquino, S (2018). Resistência aos antimicrobianos: uma revisão dos desafios na busca por novas alternativas de tratamento. *Revista de Epidemiologia e Controle de Infecções*, online.unisc.br, <https://online.unisc.br/seer/index.php/epidemiologia/article/view/11580>

Sosa-Hernández, O, Vázquez-Zamora, C (2020). Resultados del Programa de Uso Racional de Antimicrobianos en un hospital de México, 2013-2018. *Revista Panamericana de Salud Pública*, ncbi.nlm.nih.gov, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7498298/>

Síndrome Confusional Agudo en pacientes con COVID-19

Acute Confusional Syndrome in patients with COVID-19

Fabián Santana-Romo¹; Ana Arévalo-Núñez²

¹Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Departamento de Ciencias Exactas, Sangolquí, Ecuador, fmsantana@espe.edu.ec

²Hospital General Provincial Pablo Arturo Suárez, Departamento de Psiquiatría, Quito, Ecuador, ana.arevalo@hpas.gob.ec

DOI: <https://doi.org/10.31243/id.v16.2022.1792>

Resumen

Además de la insuficiencia respiratoria, el SARS-CoV-2 puede causar afectación del sistema nervioso central (SNC), incluido el síndrome confusional agudo (SCA) o *delirium* que se produce en pacientes críticamente enfermos. Se identificó la relación entre el COVID-19 y el síndrome confusional agudo. Mediante una revisión teórica, principalmente fuentes de información primarias se utilizaron las bases de datos especializadas Scielo, Pubmed, Wiley Online Library, BMJ. Se incluyeron artículos sobre el síndrome confusional agudo/delirium en pacientes con COVID-19, publicados en revistas indexadas, con factor de impacto > 2,000; con pacientes de ambos sexos; en idioma castellano o inglés; de acceso libre; con diseño analítico u observacional; revisiones sistemáticas y metaanálisis. La información fue organizada en características de la población estudiada y principales hallazgos o resultados del estudio. El *delirium* en los pacientes con COVID-19 tiene una incidencia variable; predomina entre los adultos mayores, con antecedentes de deterioro

neurocognitivo. El aislamiento social también tiene un rol importante en su aparición. El *delirium* en el curso de la infección por SARS-Cov-2, se relaciona con peor pronóstico, incremento de ingreso en unidad de cuidados intensivos (UCI), estadía hospitalaria y mortalidad; por lo que se sugiere fuertemente la valoración neuropsiquiátrica dentro del protocolo de atención a los pacientes hospitalizados con COVID-19

Palabras clave:

COVID-19, delirium, aislamiento, mortalidad, prevención.

Abstract

In respiratory failure, SARS-CoV-2 can cause central nervous system (CNS) involvement, including acute confusional syndrome (ACS) or delirium that occurs in critically ill patients. The relationship between COVID-19 and acute confusional syndrome was identified. Through a theoretical review, mainly primary sources of information, specialized databases were used: Scielo, Pubmed, Wiley Online Library, BMJ were used. They were included articles on ACS/delirium in patients with COVID-19, published in indexed journals with impact factor > 2.000; with patients about both sexes; in Spanish or English language; open access; with analytical or observational design; systematic reviews and meta-analyzes. The information was organized in characteristics about studied universe data and their main findings/results in the study. Delirium in patients with COVID-19 has a variable incidence; predominates among older adults, with a history of neurocognitive impairment. Social isolation also plays an important role in its appearance. Delirium caused for SARS-Cov-2 infection; therefore, neuropsychiatric assessment is strongly suggested within the care protocol for hospitalized patients with COVID-19.

Keywords:

COVID-19, delirium, isolation, mortality, prevention.

Introducción

En el mes de marzo del año anterior, la Organización Mundial de la Salud (OMS), anunció la pandemia del virus SARS-CoV-2 produciendo COVID-19. Además de la insuficiencia respiratoria, el SARS-CoV-2 puede causar afectación del sistema nervioso central (SNC), incluido el SCA o *delirium* que se produce en pacientes críticamente enfermos (Al-Sarraj et al., 2021).

Hay varias razones por las que la pandemia actual de COVID-19 podría tener consecuencias psiquiátricas. Algunas de estas razones se relacionan con el impacto social más amplio de la pandemia y la respuesta gubernamental, incluidas las medidas de distanciamiento físico y la cuarentena. Tanto la población infectada como la no infectada pueden ser susceptible; como resultado de ciertas experiencias como ansiedad generalizada, aislamiento social, estrés en los trabajadores de la salud y otros trabajadores esenciales, desempleo y dificultades financieras. Otras experiencias pueden ser específicas de personas que están infectadas con el virus, como preocupación por el resultado de su enfermedad, estigma y amnesia o recuerdos traumáticos de una enfermedad grave (Lewnard & Lo, 2020).

El Síndrome Confusional Agudo, también llamado delirium, ocurre en pacientes críticamente enfermos, es un trastorno agudo del sistema nervioso central (SNC) (American Psychiatric Association, 2013). El SCA se puede clasificar en los siguientes subtipos etiológicos: séptico, hipoxémico, metabólico, relacionado con la sedación o no clasificado. En el contexto de COVID-19, debe recordarse que el *delirium* puede ser un síntoma prodrómico de infección o hipoxia asociada con insuficiencia respiratoria grave (Girard et al., 2018).

La aparición de SCA es un predictor independiente de mayor mortalidad, mayores costos de atención y tratamiento; así como periodos de hospitalización más prolongados en la UCI. Estudios epidemiológicos demuestran que hasta el 75% de los pacientes sometidos a ventilación mecánica en unidades de cuidados intensivos sufren SCA en algún momento de su ingreso. No hay indicios de que en el caso de COVID-19 este porcentaje sea menor (Slooter et al., 2017).

En pacientes con COVID-19, el *delirium* puede ser una manifestación de invasión directa del sistema nervioso central (SNC), inducción de mediadores inflamatorios del SNC, un efecto secundario de la falla de otros sistemas orgánicos, un efecto de estrategias sedantes, tiempo prolongado de ventilación mecánica o factores ambientales, incluido el aislamiento social. Estos síntomas pueden requerir un tratamiento neurointensivo especializado. Las respuestas inmunológicas a los *coronaviridae* parecen estar mediadas por la activación aguda de las células T citolíticas. Esta respuesta podría, si se disregula, causar una encefalopatía autoinmune. Los efectos secundarios incluyen hipoxia cerebral o desequilibrio en la regulación del metabolismo, en asociación con insuficiencia de los sistemas pulmonares u otros órganos (Marra et al., 2019).

En consecuencia, el problema que dio origen a esta investigación surge de la necesidad de contar con un resumen de la evidencia disponible, actualizada y confiable, sobre la relación entre SCA y COVID-19, ya que, la presencia de SCA, pudiera ser un indicador de mal pronóstico en estos pacientes y es necesario identificarlo y tratarlo de forma adecuada.

Por lo tanto, con el objetivo de identificar la relación que existe entre el COVID-19 y el síndrome confusional agudo; se realizó esta revisión teórica, con la que se pudo determinar, además, la incidencia de *delirium*, sus factores de riesgo, características y acciones de prevención. La importancia de realizar esta revisión radica en que aportó evidencias sobre si existe o no relación entre el COVID-19 y el SCA, sus posibles causas o factores de riesgo y, la pertinencia de incluir la valoración neuropsiquiátrica en el protocolo de atención de los pacientes con COVID-19, estadio grave. Se trata de un tema de gran importancia, es necesario

contar con una revisión sobre la evidencia disponible, al alcance de los profesionales que se encuentran en la primera línea de atención médica a estos pacientes.

Materiales y métodos

La estrategia de búsqueda se realizó en dos momentos, con dos semanas de separación entre estos, para garantizar que se incluyan la mayor cantidad de publicaciones posibles. Se utilizaron los términos *Mesh* especificados y se descargaron los artículos de libre acceso, que quedaron para su posterior análisis y extracción de la información.

Los términos MESH: “Virus SARS-CoV-2” OR “COVID-19 disease” AND “delirium” OR “acute confusional state” OR “mixed origin delirium” OR “Agitation, emergency” OR “Confusional emergency” OR “emergence delirium” AND “risk factors” AND “English (lang)” OR “Spanish (lang)”.

Metodología

Se utilizaron los términos *Mesh* ya descritos para realizar la búsqueda en las bases de datos especializadas. Se leyeron los resúmenes de los artículos que resultaron de esta búsqueda y, se descargaron los de libre acceso, que cumplían con los criterios de selección ya establecidos. En un segundo momento, se realizó una lectura más profunda de los artículos y la información fue organizada en una matriz de datos, en los que se recogió información sobre: autores, país de publicación, revista, características de la población estudiada y principales hallazgos o resultados del estudio. Después de realizado el análisis de todos los artículos seleccionados, se procedió a la redacción del artículo de revisión, con un análisis de la información obtenida.

Resultados

Se incluyeron 17 artículos, que cumplieron con los criterios de selección establecidos; de un total de 33 artículos identificados. De los artículos incluidos en esta revisión, el 47,1% fue encontrado en Pubmed (n = 8); el 41,2% en Wiley Online Library (41,2%) y, en las bases de datos BMC y Science Direct, se seleccionó un artículo en cada una (5,9%). Estos datos se pueden visualizar en la tabla 1, la misma que tiene la información básica de resumen para continuar con esta revisión del estado del arte.

Tabla 1. Lista de artículos analizados

Autor/año	Revista	Buscador
Schneider et al., (2021).	Eur. J. Neurol.	Wiley Online Library
Paterson et al., (2020).	Brain	Pubmed
Vrillion et al., (2020).	J. Am. Geriatr. Soc.	Pubmed
Kotfis et al., (2020).	Critical Care	BMC
Garcez et al., (2020).	J Am Geriatr Soc	Wiley Online Library
Rebora et al., (2020)	J Am Geriatr Soc	Pubmed
Garg et al., (2020).	J Med Virol	Pubmed
Beach et al., (2020).	Gen Hosp Psychiatry	Pubmed
Gregorevic et al., (2021).	Intern Med J	Wiley Online Library
Mao et al., (2020).	JAMA Neurology	Wiley Online Library
Pranata et al., (2020).	Arch Gerontol Geriatr	ScienceDirect
Knopp et al., (2020).	Eur Geriatr Med	Wiley Online Library
Kennedy et al., (2020).	JAMA Neurology	Wiley Online Library
Rawle et al., (2020)	Aging Medicine	Wiley Online Library
Hawkins et al., (2020).	J Psychosom Res.	Pubmed
Kotfis et al., (2020).	Anesthesiol Intensive Ther.	Pubmed

Fuente: *Elaboración propia en base a datos obtenidos de la revisión del estado del arte*

Incidencia del SCA en pacientes hospitalizados con diagnóstico de

COVID-19

Se incluyeron 10 publicaciones (Garcez et al., 2020; Gregorevic et al., 2021; Kennedy et al., 2020; Knopp et al., 2020; Mao et al., 2020; Paterson et al., 2020; Pranata et al., 2021; Rawle et al., 2020; Rebora et al., 2021; Vrillon et al., 2020) que reportaban la incidencia de *delirium* en los pacientes hospitalizados con COVID-19; en las que se determinaron cifras variables, que oscilaban entre el 7,5% y el 71,1%. Cabe señalar que solamente uno de los trabajos mencionados, incluía población adulta general (≥ 18 años) (Paterson et al., 2020); y el resto de las investigaciones fueron realizadas en pacientes con más de 50 años de edad. Los porcentajes de resumen se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Incidencia de delirium en pacientes hospitalizados con COVID-19

Autor/es	Incidencia (%)
(Paterson et al., 2020).	34,0
(Vrillon et al., 2020).	71,1
(Garcez et al., 2020).	33,0
(Rebora et al., 2021).	14,1
(Gregorevic et al., 2021).	50,0
(Mao et al., 2020).	7,5
(Pranata et al., 2021).	27,0
(Knopp et al., 2020).	29,0
(Kennedy et al., 2020).	28,0
(Rawle et al., 2020).	41,0

Fuente: *Elaboración propia en base a datos obtenidos de la revisión del estado del arte*

Factores de riesgo para evidenciar SCA en pacientes hospitalizados con COVID-19

Al analizar los factores de riesgo de SCA en pacientes hospitalizados con COVID-19, se observó que la presencia de obesidad (Kennedy et al., 2020; Schneider et al., 2021), la edad avanzada (Beach et al., 2020; Garcez et al.,

2020; Garg et al., 2021), el antecedente de deterioro cognitivo previo (Beach et al., 2020; Kennedy et al., 2020; Kotfis, Williams Roberson, Wilson, Dabrowski, et al., 2020; Reborá et al., 2021; Vrillon et al., 2020); el aislamiento, la soledad, ansiedad y depresión, a consecuencia de las políticas de distanciamiento social (Kotfis, Williams Roberson, Wilson, Dabrowski, et al., 2020; Kotfis, Williams Roberson, Wilson, Pun, et al., 2020); el uso previo de psicofármacos (Kennedy et al., 2020; Kotfis, Williams Roberson, Wilson, Pun, et al., 2020) y la presencia de complicaciones graves a consecuencia del COVID-19 (Hawkins et al., 2021; Kotfis, Williams Roberson, Wilson, Pun, et al., 2020), fueron los factores más reportados en las investigaciones consultadas.

En una de las investigaciones analizadas, se determinó que por cada mg/dL que se incrementó la PCR, aumentó en un 1% el riesgo (Pranata et al., 2021). Ver tabla 3.

Tabla 3. Factores de riesgo de delirium en pacientes hospitalizados con COVID-19

Autor/es	Factores de riesgo
Schneider <i>et al.</i> , (Schneider et al., 2021).	- Obesidad - Diabetes Mellitus tipo 2
Vrillon <i>et al.</i> , (Vrillon et al., 2020)..	- Antecedentes de alteraciones neurocognitivas.
Kotfis <i>et al.</i> , (20).	- Restricción del contacto social y familiar - Sentimiento de aislamiento, - Desconexión de la familia - Inmovilización prolongada - Ansiedad, depresión, relacionadas con la pandemia - Interrupción de los servicios religiosos o espirituales: desesperanza, aumento del miedo y la ansiedad - Antecedentes de trastornos neurocognitivos
Garcez <i>et al.</i> , (Garcez et al., 2020).	- Edad avanzada
Reborá <i>et al.</i> , (Reborá et al., 2021).	- Antecedentes de demencia - Comorbilidades - Radiografía o Tomografía de tórax positiva para COVID-19

Garg <i>et al.</i> , (Garg <i>et al.</i> , 2021).	- Edad mayor a 50 años
Beach <i>et al.</i> , (Beach <i>et al.</i> , 2020).	- Edad > 65 años - Antecedentes de deterioro cognitivo
Pranata <i>et al.</i> , (Pranata <i>et al.</i> , 2021).	- El riesgo de <i>delirium</i> se incrementó en 1% por cada mg/dL que se incrementó la PCR
Kennedy <i>et al.</i> , (Kennedy <i>et al.</i> , 2020).	- Edad > 75 años (RR: 1,51; IC 95%: 1,17-1,95). - Vivir en una institución de cuidados a largo plazo (RR: 1,23; IC 95%: 0,98-1,55) - Uso previo de antipsicóticos (RR: 1,42; IC 95%: 1,11-1,81) - Déficit visual (RR: 1,98; IC 95%: 1,54-2,54) - Déficit auditivo (RR: 1,10; IC 95%: 0,78-1,55) - Enfermedad de Parkinson (RR: 1,88; IC 95%: 1,30-2,58)
Hawkins <i>et al.</i> , (Hawkins <i>et al.</i> , 2021).	- Complicaciones de COVID-19 (neumonía, necesidad de ventilación mecánica, estado de hiper coagulabilidad) - Estado proinflamatorio
Kotfis <i>et al.</i> , (Kotfis, Williams Roberson, Wilson, Pun, <i>et al.</i> , 2020).	Factores ambientales: - Distanciamiento social - Aislamiento Factores iatrogénicos: - Sedantes - Relajantes musculares - Ventilación mecánica prolongada - Uso de propofol, benzodiazepinas u opioides - Analgesia inadecuada Factores psicológicos: - Miedo - Ansiedad - Desorientación

Fuente: *Elaboración propia en base a datos obtenidos de la revisión del estado del arte*

Características y formas de presentación del delirium o SCA en pacientes hospitalizados con COVID-19

Se pudo determinar que los pacientes COVID-19 positivos presentaron más hipoxemia, y más inflamación ($p < 0,05$), mayor tiempo de hospitalización, alteraciones en la Resonancia Magnética Nuclear (RMN) consistentes con realce

de las leptomeninges, hemorragias difusas. Los síntomas neurológicos se mantuvieron a los 3 meses del egreso: fatiga, ansiedad y depresión; así como los cambios en la RMN (Schneider et al., 2021).

Por otra parte, se describe que el SCA predominó entre los pacientes mayores de 50 años, que presentaron también desorientación, con exámenes de neuroimagen normales (Paterson et al., 2020). La recuperación total se obtuvo en el 70% de los casos y, el *delirium* apareció en promedio a los 4,5 días de evolución de la enfermedad por SARS-CoV-2 (\square : 4,5 DE: -4 a 21 días); fue a los tres días en promedio (\square : 3; DE: -1,4 días) (Gregorevic et al., 2021); mientras que, el inicio del *delirium* ocurrió entre 5 y 14 días de inicio de los síntomas respiratorios y, se acompañó de cefalea, vómitos y alteraciones del sensorio (Garg et al., 2021).

Se explica que el SCA se asociaba con estadía hospitalaria prolongada, mayor riesgo de mortalidad (55%) y de ingreso en UCI con necesidad de ventilación mecánica (Garcez et al., 2020). También establecieron que los pacientes hospitalizados por COVID-19 que presentaron *delirium* tuvieron una mortalidad de 58,9% (n = 43) y, presentaron hasta dos veces más probabilidad de morir, con respecto al reporte de los pacientes sin *delirium* (Rebora et al., 2021).

El *delirium* se asoció con mortalidad (OR: 2,39; IC 95%: 1,64-3,49) (Pranata et al., 2021), mientras que otros autores determinaron que el *delirium* como síntoma principal se observó en el (n = 37; 16%), sin síntomas típicos de COVID-19 (n = 84; 37%); además, el *delirium* incrementó el riesgo de ingreso en UCI (RR: 1,67; IC 95%: 1,30-2,15) y muerte (RR: 1,24; IC 95%: 1,00 - 1,55) (Rawle et al., 2020), finalmente el *delirium* se asoció con un incremento de la mortalidad y de deterioro cognitivo al alta ($p < 0,05$) (Knopp et al., 2020).

Se reporta que el *delirium* estuvo acompañado de otras manifestaciones neurológicas, como somnolencia, confusión, estupor (Mao et al., 2020). El deterioro del estado mental fue el síntoma inicial en todos los casos, todos los pacientes presentaron rigidez, agitación, alogia, abulia, y elevación de los marcadores inflamatorios y, los signos en la RMN fueron hipoperfusión

frontotemporal y refuerzo de las leptomeninges (Beach et al., 2020).

Se ha argumentado que en pacientes con COVID-19, el *delirium* puede ser una manifestación de invasión directa del sistema nervioso central, inducción de mediadores inflamatorios del SNC, efecto secundario de la falla de otros órganos, efecto de estrategias sedantes, tiempo prolongado de ventilación mecánica, o el aislamiento social (Kotfis, Williams Roberson, Wilson, Dabrowski, et al., 2020). Ver tabla 4.

Tabla 4. Características del delirium en pacientes hospitalizados con COVID-19

Autor/es	Características
(Schneider et al., 2021).	<ul style="list-style-type: none"> - Los pacientes COVID-19 positivos presentaron más hipoxemia, y más inflamación ($p < 0,05$). - Mayor tiempo de hospitalización - Alteraciones en la RMN: Realce de las leptomeninges, hemorragias difusas - Síntomas neurológicos persistentes a los 3 meses: fatiga, ansiedad y depresión; así como los cambios en la RMN
(Paterson et al., 2020).	<ul style="list-style-type: none"> - Mayores de 50 años - Confusión - Desorientación - Neuroimagen normal - Recuperación total: (n = 7; 70%) - Recuperación parcial: (n = 3; 30%) - Días de evolución de COVID-19 antes de la aparición del delirium: (\bar{x}: 4,5 DE: -4 a 21 días)
(Kotfis, Williams Roberson, Wilson, Dabrowski, et al., 2020).	<ul style="list-style-type: none"> - En pacientes con COVID-19, el <i>delirium</i> puede ser una manifestación de invasión directa del sistema nervioso central, inducción de mediadores inflamatorios del SNC, efecto secundario de la falla de otros órganos, efecto de estrategias sedantes, tiempo prolongado de ventilación mecánica, o el aislamiento social
(Garcez et al., 2020).	Delirium asociado con:

	<ul style="list-style-type: none"> - Estadía hospitalaria prolongada - Mortalidad (55%) - Ingreso en UCI - Necesidad de ventilación mecánica
(Rebora et al., 2021).	<ul style="list-style-type: none"> - Mortalidad: (n = 43; 58,9%) - Los pacientes con delirium presentaron hasta dos veces más probabilidad de morir, con respecto a los pacientes sin <i>delirium</i>
(Garg et al., 2021).	<ul style="list-style-type: none"> - Inicio de los <i>delirium</i> entre 5 y 14 días de inicio de los síntomas respiratorios - Acompañado de cefalea, vómitos y alteraciones del sensorio
(Beach et al., 2020).	<ul style="list-style-type: none"> - El deterioro del estatus mental fue el síntoma inicial en todos los casos. - Todos los pacientes presentaron rigidez, agitación, alogia, abulia, y elevación de los marcadores inflamatorios - Signos en la RMN: hipoperfusión frontotemporal y refuerzo de las leptomeninges
(Gregorevic et al., 2021)	<ul style="list-style-type: none"> - Aparición del <i>delirium</i> (□: 3; DE: -1,4 días)
(Mao et al., 2020).	<ul style="list-style-type: none"> - Acompañado de otras manifestaciones neurológicas, como somnolencia, confusión, estupor
(Pranata et al., 2021).	<ul style="list-style-type: none"> - El <i>delirium</i> se asoció con la mortalidad (OR: 2,39; IC 95%: 1,64-3,49)
(Knopp et al., 2020).	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Delirium</i> se asoció con un incremento de la mortalidad y de deterioro cognitivo al alta (p < 0,05)
(Kennedy et al., 2020).	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Delirium</i> como síntoma principal (n = 37; 16%) - No síntomas típicos de COVID-19 (n = 84; 37%) - El delirium incrementó el riesgo de ingreso en UCI (RR: 1,67; IC 95%: 1,30 - 2,15) y muerte (RR: 1,24; IC 95%: 1,00 - 1,55)
(Rawle et al., 2020).	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Delirium</i> incrementa la mortalidad (OR: 1,25; IC 95%: 1,00 - 1,58) - Forma de presentación atípica del virus en adultos mayores

Fuente: *Elaboración propia en base a datos obtenidos de la revisión del estado del arte*

Prevención y Tratamiento del SCA o delirium en pacientes hospitalizados por COVID-19.

La mayoría de los autores consultados concuerdan en que las acciones para la prevención del SCA en los pacientes hospitalizados con COVID-19, no difieren sustancialmente de los protocolos estándares de prevención del delirium en el hospital. Ver tabla 5.

Se debe descartar otras causas de la presentación de SCA como pueden ser: (metabólica, hipoxemia, medicamentosa, disfunción cardíaca, coagulopatía, deshidratación) (Beach et al., 2020).

Tabla 5. Prevención y tratamiento del delirium en pacientes hospitalizados con COVID-19

Autor/es	Prevención/tratamiento
(Kotfis, Williams, Roberson, Wilson, Dabrowski, et al., 2020)	<p>Realizar pruebas de detección periódicas del <i>delirium</i>.</p> <p>Intervenciones no farmacológicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La orientación es una prioridad, porque los pacientes ven a la atención médica con equipo de protección personal. - Apoyo para los sentidos (audífonos / anteojos). - Monitorear la anosmia o ageusia. - Limitar el uso de medicamentos que actúan sobre el SNC a pacientes agitados. - Movilización temprana. <p>Identificar riesgos de <i>delirium</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Enfermedades (nuevas infecciones nosocomiales, insuficiencia cardíaca adquirida). - Eliminación de drogas, suspender todos los medicamentos psicoactivos innecesarios, estar atento a la abstinencia si el paciente estaba en un curso prolongado de sedantes. - Medio ambiente, maximizar el sueño, orientación, minimizar la privación sensorial.
(Beach et al., 2020).	<ul style="list-style-type: none"> - Descartar otras causas de SCA (metabólica, hipoxemia, medicamentosa, disfunción cardíaca, coagulopatía, deshidratación). - La valoración es similar a la de otros casos de <i>delirium</i>.
(Hawkins et al., 2021).	<p>Prevención:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evitar el sobre uso de sedantes en pacientes de UCI.

- Identificar posibles factores causantes del *delirium*: manejo del dolor, evitar retención urinaria y fecal, evitar restricciones físicas, evitar el uso de anticolinérgicos, benzodiazepinas y opioides siempre que sea posible.

Tratamiento farmacológico:

- Haloperidol (0,5 - 1 mg).
- Considerar agregar lorazepam o midazolam si se mantiene agitado.
- Si el paciente tiene disfagia: levomepromazina (12,5 - 25 mg) (sc)

(Kotfis, Williams
Roberson, Wilson,
Pun, et al., 2020).

Estrategia ABCDEF de prevención del *delirium* en UCI:

- A. Prevención y manejo del dolor.
 - B. respiración espontánea.
 - C. Elección adecuada de la analgesia y sedación.
 - D. Identificación, prevención y tratamiento del *delirium*.
 - E. Movilización temprana.
 - F. Involucrar a la familia.
- Reducir el riesgo de *delirium* mediante tratamiento adecuado del dolor.
 - Evitar la retención urinaria y problemas gastrointestinales (estreñimiento).
 - Identificar y tratar infecciones hospitalarias y mantener una oxigenación adecuada.
 - Evitar las benzodiazepinas en la sedación y la abstinencia repentina de medicamentos que el paciente toma de forma crónica

(LaHue et al., 2020).

Prevención del *delirium* en pacientes hospitalizados con COVID-19:

Detección sistemática y de rutina del delirium

- Evaluar y ajustar medicamentos con potencial para producir delirium.
- Evitar los antipsicóticos a menos que el paciente sea un peligro para sí mismo o para los demás.

Necesidades físicas fundamentales

- Evaluar y tratar el dolor, las náuseas, el estreñimiento y la tos.
- Tratar la deshidratación con líquidos orales.
- Estimulación cognitiva.
- Reorientar al paciente con cada interacción.
- Facilitar el chat por teléfono / video con la familia.

Normalizar los ciclos de sueño / vigilia

- Proporcionar luz solar durante el día (p. Ej., Persianas abiertas y encender las luces).
- Mantener la habitación oscura y silenciosa por la noche.
- Programar la melatonina para dormir si es necesario.
- Limitar los cambios de habitación o las pruebas que se realicen fuera de la habitación durante las horas de la noche.

Movilización

Movilización asistida durante las comidas y la administración de medicamentos.

Mantener la silla y los dispositivos de asistencia en la habitación

Minimizar las restricciones físicas

- Retirar líneas, catéteres, pulsioximetría y telemetría cuando sea apropiado.
- Suspender los catéteres de vejiga y recto tan pronto como sea posible
- Minimizar la privación sensorial.
- Mantener los anteojos al alcance.
- Proporcionar dispositivos amplificadores portátiles y/o audífonos personales.

Fuente: *Elaboración propia en base a datos obtenidos de la revisión del estado del arte*

Se recomienda realizar pruebas de detección periódicas del *delirium* y, el uso de intervenciones no farmacológicas, afirmando que la conexión con el paciente es una prioridad, porque estos ven al personal sanitario con equipo de protección personal y se les dificulta reconocerlos. El apoyo para los sentidos (audífonos / anteojos); la monitorización de la anosmia o ageusia, la limitación de los medicamentos que actúan sobre el SNC a pacientes agitados y la movilización temprana, también son acciones importantes en la prevención del delirium en pacientes hospitalizados (Kotfis, Williams Roberson, Wilson, Pun, et al., 2020).

Adicionalmente, estos investigadores recomiendan identificar riesgos de *delirium*, como las enfermedades (nuevas infecciones nosocomiales, insuficiencia cardíaca adquirida); así como la eliminación de drogas, suspender todos los medicamentos psicoactivos innecesarios, estar atento a la abstinencia si el paciente estaba en un curso prolongado de sedantes; maximizar las medidas de higiene del sueño y minimizar la privación sensorial (Kotfis, Williams Roberson, Wilson, Dabrowski, et al., 2020).

Describen la estrategia ABCDEF de prevención del delirium en UCI, que consiste en la prevención y manejo del dolor, garantizar la respiración espontánea, la elección adecuada de la analgesia y sedación, la identificación y tratamiento del

delirium, la movilización temprana e involucrar a la familia. Para estos investigadores, debe reducirse el riesgo de *delirium* mediante tratamiento adecuado del dolor; evitar la retención urinaria y problemas gastrointestinales (estreñimiento); identificar y tratar infecciones hospitalarias y mantener una oxigenación adecuada; evitar el uso de benzodiazepinas en la sedación y la abstinencia repentina de medicamentos que el paciente toma de forma crónica (Kotfis, Williams Roberson, Wilson, Dabrowski, et al., 2020).

Se describe acciones de prevención, evitar el sobre uso de sedantes en pacientes de UCI e identificar posibles factores causantes del *delirium*: manejo del dolor inadecuado, la retención urinaria y fecal, las restricciones físicas; evitar el uso de anticolinérgicos, benzodiazepinas y opioides siempre que será posible (Hawkins et al., 2021).

Establece acciones basadas en la detección sistemática y de rutina del *delirium*; garantizar las necesidades físicas fundamentales de los pacientes, normalizar los ciclos de sueño/vigilia; la movilización y minimizar las restricciones físicas (LaHue et al., 2020).

Discusión

Aunque la fiebre y los síntomas respiratorios son características típicas de la infección por COVID-19, no se deben ignorar otros signos y síntomas agudos durante esta pandemia. Según la evidencia actual, el SCA es común en pacientes afectados por SARS-CoV-2 en todo el espectro de gravedad. Puede ser un síntoma central en la presentación, incluso en ausencia de síntomas respiratorios; sin embargo, el SCA puede no reconocerse y diagnosticarse de forma insuficiente, lo que limita la capacidad de los médicos para controlar sus causas y síntomas subyacentes, así como para apreciar su impacto a corto y largo plazo en los pacientes (Alkeridy et al., 2020).

En esta revisión, se observaron diferencias importantes en los reportes de incidencia de *delirium* en pacientes hospitalizados con COVID-19 (Garcez et al., 2020; Gregorevic et al., 2021; Kennedy et al., 2020; Knopp et al., 2020; Mao et

al., 2020; Paterson et al., 2020; Pranata et al., 2021; Rawle et al., 2020; Reborá et al., 2021; Vrillon et al., 2020); estas diferencias pudieran justificarse por varias causas, incluidas las características de la población, el tiempo de seguimiento o los criterios utilizados para el diagnóstico de *delirium*; sin embargo, existió concordancia en la literatura consultada en que, se trata de un evento frecuente en adultos mayores, con varias comorbilidades y, con antecedentes de déficits neurocognitivos y, puede ser la única forma de presentación en algunos casos, especialmente adultos mayores.

Los hallazgos de esta revisión concuerdan con otras investigaciones dónde se reportó una incidencia de SCA del 42%, en una serie de 71 pacientes mayores de 60 años hospitalizados con COVID-19; con una mortalidad del 28% a las 4 semanas y, con serias afectaciones al estado cognitivo de estos pacientes, tras su recuperación. Estos autores concluyeron que, el SCA es frecuente e infradiagnosticado en el contexto del COVID-19 (Mcloughlin et al., 2020).

Se describe una incidencia de SCA del 27,3%, en una serie de adultos mayores hospitalizados por COVID-19, en la UCI; de los cuales, el 72% falleció durante su estadía en la UCI, con una probabilidad de morir 4 veces mayor que los pacientes que no desarrollaron este síndrome confusional agudo; por lo que concluyeron que se trata un problema que afecta a un porcentaje importante de la población adulta mayor con COVID-19 y, tiene una relación directa con la mortalidad, por lo que es necesario realizar el diagnóstico oportuno (Marengoni et al., 2020).

En cuanto a los factores de riesgo de SCA durante la hospitalización por COVID-19, la mayoría de las investigaciones que se analizaron concuerdan en que es más probable que aparezca en hombres, adultos mayores, polimórbidos, con antecedentes de déficit neurocognitivo y con uso de psicofármacos, lo que es común para el *delirium* en el contexto de cualquier causa infecciosa de hospitalización, no solamente por COVID-19 (Beach et al., 2020; Garcez et al., 2020; Pranata et al., 2021; Schneider et al., 2021; Vrillon et al., 2020).

En este sentido; se ha demostrado claramente que el sexo, el uso de opioides y la ventilación mecánica no alteran el riesgo de aparición de *delirium*; además, otros factores de riesgo importantes son el antecedente de hipertensión; ingreso debido a una enfermedad neurológica; trauma; y el uso de medicación psicoactiva (por ejemplo, antipsicóticos, anticonvulsivos). El historial de enfermedad respiratoria, ingreso médico, uso de nicotina, diálisis o hemofiltración endovenosa continua y una puntuación más baja en la Escala de coma de Glasgow no aumentan el riesgo de *delirium* (Devlin et al., 2018).

Sin embargo, la emergencia sanitaria actual, vino acompañada de una serie de medidas gubernamentales que tenían la intención de frenar los contagios; estas medidas se basan casi exclusivamente en el aislamiento social; lo que tuvo una afectación importante gran parte de la población, incluyendo los adultos mayores; en los que se describe un incremento de la soledad, aislamiento, privación del contacto con familiares y amigos e institucionalización; lo que ha sido identificado por varios de los investigadores consultados, como factores que favorecen la aparición del SCA (Kennedy et al., 2020; Kotfis, Williams Roberson, Wilson, Dabrowski, et al., 2020; Kotfis, Williams Roberson, Wilson, Pun, et al., 2020).

En consecuencia, la evidencia indica que los individuos que son mayores, tienen demencia y enfermedades más graves, parecen ser más susceptibles a desarrollar *delirium* durante la hospitalización por COVID-19; especialmente si se hallaban en situación de aislamiento social, como parte de las políticas para tratar de reducir el número de contagios; lo que puede resultar particularmente difícil para las personas mayores, que son menos propensas a recurrir a métodos virtuales o electrónicos de comunicación interpersonal (Kotfis, Williams Roberson, Wilson, Dabrowski, et al., 2020).

La situación en la que el paciente se encuentra aislado y el contacto personal con familiares y amigos es imposible, se reconoce como un factor de riesgo adicional para el SCA. Los sentimientos de soledad y aislamiento pueden provocar un empeoramiento del bienestar, síntomas depresivos, ansiedad e ira, especialmente en los ancianos. Además, esto puede provocar apatía, socavar la

voluntad de movilización y aumentar aún más el riesgo de SCA (Maldonado, 2018).

En relación a las características del SCA en pacientes hospitalizados con COVID-19; la evidencia consultada indica que suele ser la forma de presentación atípica en adultos mayores; que aparece en la primera semana de contagio, aun antes de que se manifiesten los síntomas respiratorios y, que tiene una relación directa con el riesgo de ingreso en UCI, la necesidad de ventilación mecánica y la muerte (Garcez et al., 2020; Garg et al., 2021; Gregorevic et al., 2021; Knopp et al., 2020; Pranata et al., 2021; Rawle et al., 2020; Schneider et al., 2021).

En este sentido, el SCA se considera un factor agravante para el COVID-19; ya que se presenta en pacientes con varias condiciones de vulnerabilidad (edad, comorbilidad, antecedentes de déficit neurocognitivo); además, puede pasar inadvertido; ya que se acompaña de varias manifestaciones neuropsiquiátricas y puede ser consecuencia de la invasión del sistema nervioso central por el virus, de la deshidratación, la fiebre y otros varios factores (Rogers et al., 2020).

La presentación del Síndrome confusional agudo, en un paciente con COVID-19; es un factor de riesgo conocido de deterioro cognitivo, y pone de manifiesto un daño neurológico que puede persistir aun después de la recuperación; además, en los pacientes con trastornos mentales de base, como la ansiedad, depresión y trastorno de estrés post traumático; el riesgo de un deterioro cognitivo permanente, después de la infección por COVID-19, es mayor en presencia de SCA (Méndez et al., 2021).

Acerca de las acciones de prevención del SCA en pacientes hospitalizados con COVID-19; en esta revisión se observó que la mayoría de los autores recomiendan evitar el uso de benzodiazepinas, la restricción física, garantizar la movilización temprana; el manejo adecuado del dolor y la sedación; evitar las retenciones urinarias o fecales, garantizar la iluminación adecuada, así como la higiene del sueño y la comunicación adecuada, que se ve entorpecida con el uso del equipo de protección personal (Beach et al., 2020; Hawkins et al., 2021; Kotfis, Williams Roberson, Wilson, Dabrowski, et al., 2020; Kotfis, Williams

Roberson, Wilson, Pun, et al., 2020; LaHue et al., 2020).

Aunque la mayoría de los pacientes ingresan con factores de riesgo no modificables, para el desarrollo de SCA; se conoce que existen estrategias para prevenir su aparición, estas estrategias concuerdan con los hallazgos de esta revisión y coinciden con las directrices aceptadas internacionalmente. Estas intervenciones se centran en el abordaje no farmacológico, modificando algunos factores ambientales, y corrigiendo aspectos como el dolor y el uso de benzodiazepinas (Allen & Alexander, 2012).

Existe evidencia que indica que, la eficacia de la dexametasona, donapezilo o rivastigmina, no ha sido confirmada en la prevención del SCA en UCI (Trogrlić et al., 2015). Se ha puesto atención a la efectividad de las estatinas para este fin; debido a sus efectos antiinflamatorios y pleiotrópicos; sin embargo, los resultados obtenidos no han sido contundentes, lo que refuerza la importancia de las acciones no farmacológicas en la prevención del *delirium* en pacientes hospitalizados por COVID-19 (Serafim et al., 2015).

En esta investigación, se evidenció la necesidad de incluir la valoración neuropsiquiátrica en el protocolo de atención a los pacientes hospitalizados con COVID-19; especialmente aquellos que presentan factores de riesgo conocidos para desarrollar síndrome confusional agudo, ya que, al ser un factor de mal pronóstico, con aumento del riesgo de mortalidad en los pacientes con COVID-19; debe ser adecuadamente prevenido, identificado y tratado

Esta investigación tiene como limitación, que no se realizó un análisis sistemático de la calidad de la evidencia, sino que solamente se realizó una revisión teórica de la literatura. Dentro de sus fortalezas, puede mencionarse que se incluyeron publicaciones de países desarrollados, en Europa y América, lo que brinda una visión más global del problema.

Conclusión

El SCA o *delirium* tiene una incidencia variable, en los pacientes hospitalizados por COVID-19. Predomina entre los adultos mayores, polimórbidos; con antecedentes de deterioro neurocognitivo. El aislamiento social en el contexto de la pandemia también tiene un rol importante en su aparición. Se relaciona con peor pronóstico, incremento del riesgo de ingreso en UCI, estadía hospitalaria y mortalidad. Suele aparecer como manifestación aislada en pacientes con COVID-19 de presentación atípica, o durante la primera semana de aparición de los síntomas respiratorios, determinando explícitamente que existe una correlación, entre la insuficiencia respiratoria por COVID-19 y la gama de alteraciones cognitivas, del estado de ánimo, del sueño y de la conducta. La prevención se basa en acciones no farmacológicas, encaminadas a evitar la desorientación, el uso de fármacos con acción en el SNC y la movilización temprana. Debido a su alta incidencia, debería considerarse la valoración neuropsiquiátrica, dentro del protocolo de atención a los pacientes hospitalizados con COVID-19.

Conflicto de intereses

Los autores de este artículo no tienen ningún conflicto de interés.

Bibliografía

- Al-Sarraj, S., Troakes, C., Hanley, B., Osborn, M., Richardson, M. P., Hotopf, M., Bullmore, E., & Everall, I. P. (2021). Invited Review: The spectrum of neuropathology in COVID-19. *Neuropathology and Applied Neurobiology*, 47(1), 3–16. <https://doi.org/10.1111/nan.12667>
- Alkeridy, W. A., Almaghlouth, I., Alrashed, R., Alayed, K., Binkhamis, K., Alsharidi, A., & Liu-Ambrose, T. (2020). A Unique Presentation of Delirium in a Patient with Otherwise Asymptomatic COVID-19. *Journal of the American Geriatrics Society*, 68(7), 1382–1384. <https://doi.org/10.1111/jgs.16536>
- Allen, J., & Alexander, E. (2012). Prevention, Recognition, and Management of Delirium in the Intensive Care Unit. *AACN Advanced Critical Care*, 23(1), 5–11. <https://doi.org/10.1097/NCI.0b013e31822c3633>

American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*. American Psychiatric Association. <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>

Beach, S. R., Praschan, N. C., Hogan, C., Dotson, S., Merideth, F., Kontos, N., Fricchione, G. L., & Smith, F. A. (2020). Delirium in COVID-19: A case series and exploration of potential mechanisms for central nervous system involvement. *General Hospital Psychiatry*, 65, 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.genhosppsy.2020.05.008>

Devlin, J. W., Skrobik, Y., Gélinas, C., Needham, D. M., Slooter, A. J. C., Pandharipande, P. P., Watson, P. L., Weinhouse, G. L., Nunnally, M. E., Rochweg, B., Balas, M. C., van den Boogaard, M., Bosma, K. J., Brummel, N. E., Chanques, G., Denehy, L., Drouot, X., Fraser, G. L., Harris, J. E., ... Alhazzani, W. (2018). Clinical Practice Guidelines for the Prevention and Management of Pain, Agitation/Sedation, Delirium, Immobility, and Sleep Disruption in Adult Patients in the ICU. *Critical Care Medicine*, 46(9), e825–e873. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003299>

Garcez, F. B., Aliberti, M. J. R., Poco, P. C. E., Hiratsuka, M., Takahashi, S. de F., Coelho, V. A., Salotto, D. B., Moreira, M. L. V., Jacob-Filho, W., & Avelino-Silva, T. J. (2020). Delirium and Adverse Outcomes in Hospitalized Patients with COVID-19. *Journal of the American Geriatrics Society*, 68(11), 2440–2446. <https://doi.org/10.1111/jgs.16803>

Garg, R. K., Paliwal, V. K., & Gupta, A. (2021). Encephalopathy in patients with COVID-19: A review. *Journal of Medical Virology*, 93(1), 206–222. <https://doi.org/10.1002/jmv.26207>

Girard, T. D., Thompson, J. L., Pandharipande, P. P., Brummel, N. E., Jackson, J. C., Patel, M. B., Hughes, C. G., Chandrasekhar, R., Pun, B. T., Boehm, L. M., Elstad, M. R., Goodman, R. B., Bernard, G. R., Dittus, R. S., & Ely, E. W. (2018). Clinical phenotypes of delirium during critical illness and severity of subsequent long-term cognitive impairment: a prospective cohort study. *The Lancet Respiratory Medicine*, 6(3), 213–222. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(18\)30062-6](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(18)30062-6)

Gregorevic, K., Maier, A., Miranda, R., Loveland, P., Miller, K., Busing, K., Marshall, C., O’Gorman, B., Tan, A., Staggard, K., O’Halloran, T., Nguyen, H. X. T., Disler, J., Crotty, F., Lim, K., Cianter, J., Kelly, C., & Lim, K. (2021a). Presenting symptoms of COVID-19 and clinical outcomes in hospitalised older adults. *Internal Medicine Journal*, imj.15286. <https://doi.org/10.1111/imj.15286>

Gregorevic, K., Maier, A., Miranda, R., Loveland, P., Miller, K., Busing, K., Marshall, C., O’Gorman, B., Tan, A., Staggard, K., O’Halloran, T., Nguyen, H. X. T., Disler, J., Crotty, F., Lim, K., Cianter, J., Kelly, C., & Lim, K. (2021b). Presenting symptoms of COVID-19 and clinical outcomes in hospitalised older adults. *Internal Medicine Journal*, 51(6), 861–867. <https://doi.org/10.1111/imj.15286>

Hawkins, M., Sockalingam, S., Bonato, S., Rajaratnam, T., Ravindran, M., Gosse, P., & Sheehan, K. A. (2021). A rapid review of the pathoetiology, presentation, and management of delirium in adults with COVID-19. *Journal of Psychosomatic Research*, 141, 110350. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2020.110350>

Kennedy, M., Helfand, B. K. I., Gou, R. Y., Gartaganis, S. L., Webb, M., Moccia, J. M., Bruursema, S. N., Dokic, B., McCulloch, B., Ring, H., Margolin, J. D., Zhang, E., Anderson, R., Babine, R. L., Hshieh, T., Wong, A. H., Taylor, R. A., Davenport, K., Teresi, B., ... Inouye, S. K. (2020). Delirium in Older Patients With COVID-19 Presenting to the Emergency Department. *JAMA Network Open*, 3(11), e2029540. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.29540>

Knopp, P., Miles, A., Webb, T. E., Mcloughlin, B. C., Mannan, I., Raja, N., Wan, B., & Davis, D. (2020). Presenting features of COVID-19 in older people: relationships with frailty, inflammation and mortality. *European Geriatric Medicine*, 11(6), 1089–1094. <https://doi.org/10.1007/s41999-020-00373-4>

Kotfis, K., Williams Roberson, S., Wilson, J. E., Dabrowski, W., Pun, B. T., & Ely, E. W. (2020). COVID-19: ICU delirium management during SARS-CoV-2 pandemic. *Critical Care*, 24(1), 176. <https://doi.org/10.1186/s13054-020->

02882-x

Kotfis, K., Williams Roberson, S., Wilson, J., Pun, B., Ely, E. W., Jeżowska, I., Jezierska, M., & Dabrowski, W. (2020). COVID-19: What do we need to know about ICU delirium during the SARS-CoV-2 pandemic? *Anaesthesiology Intensive Therapy*, 52(2), 132–138. <https://doi.org/10.5114/ait.2020.95164>

LaHue, S. C., James, T. C., Newman, J. C., Esmaili, A. M., Ormseth, C. H., & Ely, E. W. (2020). Collaborative Delirium Prevention in the Age of COVID-19. *Journal of the American Geriatrics Society*, 68(5), 947–949. <https://doi.org/10.1111/jgs.16480>

Lewnard, J. A., & Lo, N. C. (2020). Scientific and ethical basis for social-distancing interventions against COVID-19. *The Lancet Infectious Diseases*, 20(6), 631–633. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30190-0](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30190-0)

Maldonado, J. R. (2018). Delirium pathophysiology: An updated hypothesis of the etiology of acute brain failure. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 33(11), 1428–1457. <https://doi.org/10.1002/gps.4823>

Mao, L., Jin, H., Wang, M., Hu, Y., Chen, S., He, Q., Chang, J., Hong, C., Zhou, Y., Wang, D., Miao, X., Li, Y., & Hu, B. (2020). Neurologic Manifestations of Hospitalized Patients With Coronavirus Disease 2019 in Wuhan, China. *JAMA Neurology*, 77(6), 683. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2020.1127>

Marengoni, A., Zucchelli, A., Grande, G., Fratiglioni, L., & Rizzuto, D. (2020). The impact of delirium on outcomes for older adults hospitalised with COVID-19. *Age and Ageing*, 49(6), 923–926. <https://doi.org/10.1093/ageing/afaa189>

Marra, A., Kotfis, K., Hosie, A., MacLulich, A. M. J., Pandharipande, P. P., Ely, E. W., & Pun, B. T. (2019). Delirium Monitoring: Yes or No? That Is The Question. *American Journal of Critical Care*, 28(2), 127–135. <https://doi.org/10.4037/ajcc2019874>

Mcloughlin, B. C., Miles, A., Webb, T. E., Knopp, P., Eyres, C., Fabbri, A., Humphries, F., & Davis, D. (2020). Functional and cognitive outcomes after COVID-19 delirium. *European Geriatric Medicine*, 11(5), 857–862. <https://doi.org/10.1007/s41999-020-00353-8>

Méndez, R., Balanzá-Martínez, V., Luperdi, S. C., Estrada, I., Latorre, A., González-Jiménez, P., Feded, L., Bouzas, L., Yépez, K., Ferrando, A., Hervás, D., Zaldívar, E., Reyes, S., Berk, M., & Menéndez, R. (2021). Short-term Neuropsychiatric Outcomes and Quality of Life in COVID-19 Survivors. *Journal of Internal Medicine*. <https://doi.org/10.1111/joim.13262>

Paterson, R. W., Brown, R. L., Benjamin, L., Nortley, R., Wiethoff, S., Bharucha, T., Jayaseelan, D. L., Kumar, G., Raftopoulos, R. E., Zambreau, L., Vivekanandam, V., Khoo, A., Gerald, R., Chinthapalli, K., Boyd, E., Tuzlali, H., Price, G., Christofi, G., Morrow, J., ... Zandi, M. S. (2020). The emerging spectrum of COVID-19 neurology: clinical, radiological and laboratory findings. *Brain*, *143*(10), 3104–3120. <https://doi.org/10.1093/brain/awaa240>

Pranata, R., Huang, I., Lim, M. A., Yonas, E., Vania, R., & Kuswardhani, R. A. T. (2021). Delirium and Mortality in Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) – A Systematic Review and Meta-analysis. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, *95*, 104388. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2021.104388>

Rawle, M. J., Bertfield, D. L., & Brill, S. E. (2020). Atypical presentations of COVID-19 in care home residents presenting to secondary care: A UK single centre study. *AGING MEDICINE*, *3*(4), 237–244. <https://doi.org/10.1002/agm2.12126>

Rebora, P., Rozzini, R., Bianchetti, A., Blangiardo, P., Marchegiani, A., Piazzoli, A., Mazzeo, F., Cesaroni, G., Chizzoli, A., Guerini, F., Bonfanti, P., Morandi, A., Faraci, B., Gentile, S., Bna, C., Savelli, G., Citerio, G., Valsecchi, M. G., Mazzola, P., & Bellelli, G. (2021). Delirium in Patients with SARS-CoV-2 Infection: A Multicenter Study. *Journal of the American Geriatrics Society*, *69*(2), 293–299. <https://doi.org/10.1111/jgs.16969>

Rogers, J. P., Chesney, E., Oliver, D., Pollak, T. A., McGuire, P., Fusar-Poli, P., Zandi, M. S., Lewis, G., & David, A. S. (2020). Psychiatric and neuropsychiatric presentations associated with severe coronavirus infections: a systematic review and meta-analysis with comparison to the COVID-19 pandemic. *The Lancet Psychiatry*, *7*(7), 611–627. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(20\)30203-0](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(20)30203-0)

Schneider, F., Agin, A., Baldacini, M., Maurer, L., Schenck, M., Alemann, M., Solis, M., Helms, J., Villette, C., Artzner, T., Kremer, S., & Heintz, D. (2021). Acute-onset delirium in intensive care COVID patients: association of imperfect brain repair with foodborne micro-pollutants. *European Journal of Neurology*, 28(10), 3443–3447. <https://doi.org/10.1111/ene.14776>

Serafim, R. B., Bozza, F. A., Soares, M., do Brasil, P. E. A. A., Tura, B. R., Ely, E. W., & Salluh, J. I. F. (2015). Pharmacologic prevention and treatment of delirium in intensive care patients: A systematic review. *Journal of Critical Care*, 30(4), 799–807. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2015.04.005>

Slooter, A. J. C., Van De Leur, R. R., & Zaal, I. J. (2017). Delirium in critically ill patients. In E. F. M. Wijdicks & A. H. Kramer (Eds.), *Critical Care Neurology Part II* (Vol. 141, pp. 449–466). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63599-0.00025-9>

Trogrić, Z., van der Jagt, M., Bakker, J., Balas, M. C., Ely, E. W., van der Voort, P. H., & Ista, E. (2015). A systematic review of implementation strategies for assessment, prevention, and management of ICU delirium and their effect on clinical outcomes. *Critical Care*, 19(1), 157. <https://doi.org/10.1186/s13054-015-0886-9>

Vrillon, A., Hourregue, C., Azuar, J., Grosset, L., Boutelier, A., Tan, S., Roger, M., Mourman, V., Mouly, S., Sène, D., François, V., Dumurgier, J., & Paquet, C. (2020). COVID-19 in Older Adults: A Series of 76 Patients Aged 85 Years and Older with COVID-19. *Journal of the American Geriatrics Society*, 68(12), 2735–2743. <https://doi.org/10.1111/jgs.16894>

Factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares en adultos jóvenes

Risk Factors for Cardiovascular Disease in Young Adults

Jonathan Alexander López- Panata¹; Graciela de las Mercedes Quishpe Jara²; Sandra Elizabeth Villacís-Valencia³

¹Universidad Técnica de Ambato, Facultad Ciencias de la Salud/ Carrera de Medicina,
Ambato - Ecuador, jlopez7496@uta.edu.ec

² Universidad Técnica de Ambato, Facultad Ciencias de la Salud/ Carrera de Enfermería
GRUPO DE INVESTIGACION ACADEMICA Y CIENTIFICA EN CIENCIAS BIOMÉDICAS CON
PROYECCION SOCIAL K'USKIYKUY YACHAY SUNTUR, Ambato - Ecuador,
gdm.quishpe@uta.edu.ec

³ Universidad Técnica de Ambato, Facultad Ciencias de la Salud/ Carrera de Medicina,
se.villacis@uta.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.31243/id.v16.2022.1834>

Resumen

Las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de muerte (1,9 millones anuales), que pueden ser prevenidas con modificaciones del estilo de vida. La Organización Mundial de la Salud ha definido que en las Américas, las mismas suelen afectar a ambos sexos por igual, con un 30% de muertes prematuras en el quintil más pobre. Por lo que, la estrategia regional, tiene por meta reducir en un 25% las cifras de mortalidad. El presente estudio identificó los factores de riesgo cardiovascular en una población de adultos jóvenes de la parroquia de Izamba. Se realizó un estudio descriptivo para lo cual se utilizó el Cuestionario de Factores de Riesgo de la Secretaría de Salud de México y Cuestionario Internacional de Actividad Física IPAQ, la muestra quedó conformada por 30 jóvenes miembros de la Iglesia EANJ de la parroquia Izamba, Provincia Tungurahua, Ecuador. El estudio describió la

presencia de diversos factores de riesgo no modificables y modificables directos e indirectos, así como otros relacionados, donde destacan: Factores no modificables (Sexo Masculino, Antecedentes en familiares de primer grado de enfermedad cardiovascular precoz (hipertensión arterial, hipercolesterolemia familiar y diabetes mellitus tipo 2); entre los factores de riesgo modificables directos (estar diagnosticado y/o tratado de hipertensión arterial, diabetes mellitus tipo 2 e hipercolesterolemia); Factores de riesgo modificables indirectos (obesidad y sedentarismo) y otros factores relacionados (hormonales, hábitos tóxicos consumo de café, cocaína, fumar, factores psicológicos y trastornos metabólicos), lo cual hace necesario una estrategia de intervención por enfermería para su control.

Palabras clave:

Factores de Riesgo. Enfermedades Cardiovasculares, Estilo de Vida

Abstract

Cardiovascular diseases are the leading cause of death (1.9 million annually), which can be prevented with lifestyle modifications. The World Health Organization has defined that in the Americas, they usually affect both sexes equally, with 30% of premature deaths in the poorest quintile. Therefore, the regional strategy aims to reduce mortality figures by 25%. The present study identified cardiovascular risk factors in a population of young adults from the parish of Izamba. A descriptive study was carried out for which the Questionnaire of Risk Factors of the Ministry of Health of Mexico and the International Questionnaire of Physical Activity IPAQ was used, the sample was made up of 30 young members of the EANJ of the name of Jesus of the parish Izamba, Tungurahua Province, Ecuador. The study described the presence of several direct and indirect non-modifiable and modifiable risk factors, as well as other related ones, where the following stand out: Non-modifiable factors (Male Sex, History in first-degree relatives of early cardiovascular disease (arterial hypertension, familial hypercholesterolemia and type 2 diabetes mellitus); among the

direct modifiable risk factors (being diagnosed and / or treated for arterial hypertension, type 2 diabetes mellitus and hypercholesterolemia); Indirect modifiable risk factors (obesity and sedentary lifestyle) and other related factors (hormonal, toxic habits, consumption of coffee, cocaine, smoking, psychological factors and metabolic disorders), which makes a nursing intervention strategy necessary for its control.

Keywords: *Risk Factors, Cardiovascular Diseases, Life Style*

Introducción

A nivel mundial, las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de muerte (1,9 millones al año). Una muy alta proporción de las mismas pudieran ser prevenidas con modificaciones del estilo de vida, al incorporar una dieta saludable, ejercicio físico y suprimir el consumo de tabaco, alcohol, drogas, entre otras medidas. En la región de América Latina tres de cada cuatro personas las padecen y 1,9 millones mueren al año por esta causa, afectando a hombres y mujeres por igual, aunque las muertes prematuras son más altas entre hombres, ocurriendo 30% en el quintil más pobre. Para hacer frente a las enfermedades no transmisibles, las autoridades sanitarias de las Américas aprobaron una estrategia para la prevención y el control que tiene por meta reducir en un 25% la mortalidad prematura por enfermedades cardiovasculares, considerando que el tabaquismo, la obesidad, la inactividad física, los regímenes alimentarios insalubres y el consumo nocivo de alcohol sólo se pueden abordar mediante políticas públicas y estrategias de intervención comunitarias costo efectivas, donde la enfermería tiene un rol decisivo (Mas, 2017).

El presente estudio se realizó con la finalidad de identificar los factores de riesgo para enfermedades cardiovasculares en adultos jóvenes de la de la parroquia Izamba como fundamento para el desarrollo de estrategias de prevención comunitaria

Metodología

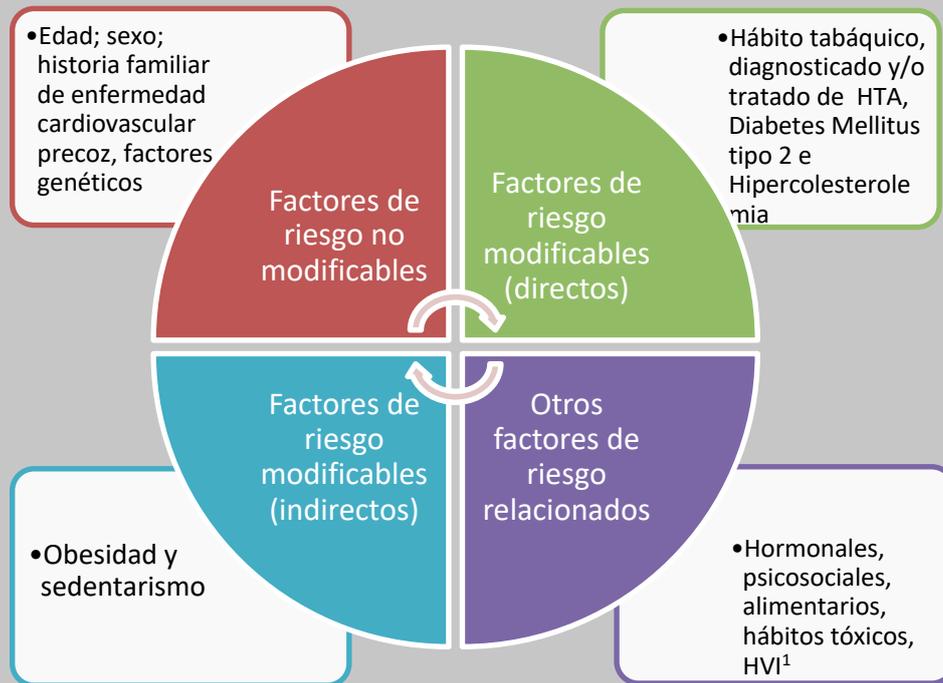
Tipo de investigación:

Se realizó un estudio no experimental, descriptivo y transversal. La investigación se realizó en la parroquia Izamba, que es una población de la Sierra Ecuatoriana, La población está conformada por adultos jóvenes de entre 20 y 39 años, sin distinción de sexo, raza o etnia, la muestra estuvo constituida por 30 adultos jóvenes que asisten a la Iglesia EANJ, durante el periodo previsto Abril – Septiembre del 2022, la evaluación de cada paciente se realizó una sola vez. A todos se les aplicó el Cuestionario de Factores de Riesgo de la Secretaría de Salud de México y Cuestionario Internacional de Actividad Física IPAQ. Para el procesamiento y análisis de los datos, se emplearon métodos estadísticos descriptivos: frecuencia, media, moda. Los resultados se presentaron en tablas dinámicas de una y dos entradas, así como gráficos descriptivos de los factores identificados. Los cálculos estadísticos se realizarán a través de la plataforma estadística – SPSS, versión 25.

La manifestación de enfermedades cardiovasculares en adultos jóvenes se puede presentar por diversos factores de riesgo, que pueden clasificarse en: Factores de riesgo modificables, modificables (directos), modificables (indirectos) y otros factores de riesgo relacionados (Figura 1).

Figura 1

Factores de riesgo cardiovascular evaluados en adultos jóvenes que asisten a la Iglesia Evangélica Apostólica del nombre de Jesús de la parroquia Izamba, Tungurahua, Ecuador



Hipertrofia Ventricular Izquierda (HVI)

Nota: Elaboración propia de los autores

Variables relacionadas con factores de riesgo cardiovascular (Mas, 2017).

Factores de riesgo no modificables: Edad; sexo; historia familiar de enfermedad cardiovascular precoz (para hombres <55 años y para mujeres <65 años), en familiares de primer grado (padre, madre o hermanos), factores genéticos (hipertensión arterial, hipercolesterolemia familiar o diabetes II) y grupo étnico.

Factores de riesgo modificables (directos): Hábito tabáquico, estar diagnosticado y/o tratado de hipertensión arterial, diabetes mellitus II e hipercolesterolemia en el momento

del estudio, o si no llevan tratamiento ni están diagnosticados y cumplir con los siguientes criterios clínicos diagnósticos:

Hipertensión arterial: presencia mantenida de cifras de presión arterial sistólica (PAS) ≥ 140 mmHg y/o presión arterial diastólica (PAD) ≥ 90 mmHg. En estos casos se realizaron 3 determinaciones espaciadas por más de 5 minutos de reposo, considerando la media de las tres mediciones.

Diabetes: Presencia en controles analíticos de al menos: 2 determinaciones separadas de glucemia basal ≥ 126 mg/dl, 1 glucemia basal al azar ≥ 200 mg/dl, o bien, 2 determinaciones en distintos momentos de HbA1c $\geq 6,5$.

Hipercolesterolemia: Presencia en controles analíticos de al menos: colesterol total > 200 mg/dl; y/o colesterol de baja densidad (Col-LDL) > 130 mg/dl; colesterol total > 240 mg/dl; y/o Col-LDL > 160 mg/dl; o bien colesterol de alta densidad (Col-HDL): < 40 mg/dl (hombres) y < 45 (mujeres).

Factores de riesgo modificables (indirectos): Obesidad (índice de masa corporal (IMC) ≥ 30 Kg/m²), obesidad abdominal (hombres > 102 cm y mujeres > 88 cm) y sedentarismo (actividad física moderada inferior a 30 minutos diarios).

Otros factores de riesgo relacionados: factores hormonales (edad de menarquía en mujeres y uso de anticonceptivos hormonales), consumo de cocaína, factores psicosociales, factores alimentarios e hipertrofia ventricular izquierda en electrocardiograma.

Los factores de riesgo se dividieron en tres grupos para su análisis: “mayores independientes” y “predisponentes condicionales”, donde no se incluyeron (partículas de LDL-c pequeñas, homocisteína, lipoproteína A, factores protrombóticos, y marcadores inflamatorios) y un tercer grupo de otros factores de riesgo relacionados con el riesgo cardiovascular (factores psicológicos, alimentarios, consumo de cocaína, síndrome metabólico, hipertrofia ventricular izquierda). (Cercato & Fonseca, 2019; Jacobs et al., 2022; Kjeldsen, 2018).

VARIABLES SECUNDARIAS (Mas, 2017).

VARIABLES SOCIO-DEMOGRÁFICAS: Nivel de estudios (sin estudios, primarios, secundarios, universitarios), situación laboral previa al ingreso en prisión (trabaja, no trabaja), ocupación previa al ingreso (no trabaja, trabajo no cualificado, trabajo cualificado), estado civil y convive en pareja (si, no).

VARIABLES CLÍNICO-ANALÍTICAS: Glucemia, colesterol total, colesterol HDL, colesterol LDL, triglicéridos, presión arterial sistólica, presión arterial diastólica, perímetro abdominal, peso, talla, índice de masa corporal, índice aterogénico o índice de Castelli y síndrome metabólico según los criterios de la Federación Internacional de Diabetes (IDF).

OTRAS VARIABLES ACCESORIAS: Cálculo del porcentaje de riesgo cardiovascular mediante determinados modelos como: la ecuación de Framingham, el modelo REGICOR (registre girones del cor), el modelo SCORE de bajo riesgo, el modelo DORICA (dislipidemia obesidad y riesgo cardiovascular en España) y finalmente mediante el modelo Q-RISK9 versión 2017, elaborado por la universidad de Nottingham (Reino Unido).

CONSIDERACIONES ÉTICAS. A todos los pacientes se les realizó el consentimiento informado y se garantizó la confiabilidad de los datos, según lo establece la Declaración de Helsinki.

Resultados

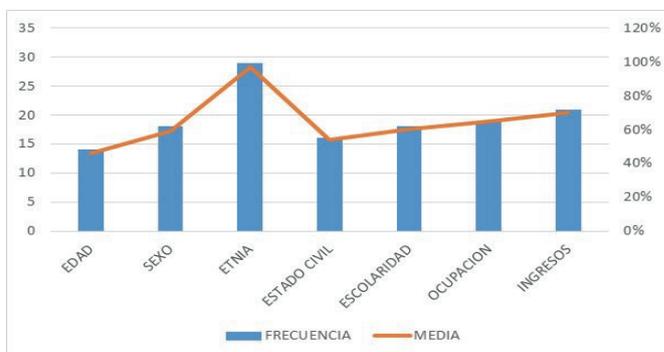
Casi la mitad (46%) de los adultos jóvenes que asisten a la Iglesia Evangélica Apostólica del nombre de Jesús tienen edades comprendidas entre 20-25 años, donde predominó el sexo femenino en 59 % y la auto identificación étnica mestizo en 97% ([Tabla 1](#)).

Tabla 1*Caracterización sociodemográfica de los adultos jóvenes en la iglesia EANJ*

INDICADORES SOCIODEMOGRAFICOS	CATEGORIA		
	PREDOMINANTE	FRECUENCIA	MEDIA
EDAD	20-25	14	46%
SEXO	FEMENINO	18	59%
ETNIA	MESTIZO	29	97%
ESTADO CIVIL	SOLTERO	16	54%
ESCOLARIDAD	PRIMARIA	18	60%
OCUPACION	OBRERO	19	65%
INGRESOS	BAJO	21	70%

Nota: Elaboración propia de los autores

Los resultados obtenidos en el presente estudio confirman que la autoidentificación étnica predominante en los adultos jóvenes de la EANJ es la Mestiza con un 97%, con ingresos bajos del 70%, con mayor índice de ocupación en hombres (obreros) del 65%, nivel de escolaridad primaria con el 60%, predominando el sexo femenino con el 59%, manteniendo un estado civil de soltería con el 54% y manifestando con el 46% que la mitad de adulto jóvenes que asisten a la EANJ tienen edades comprendidas entre 20-25 años ([Figura 2](#)).

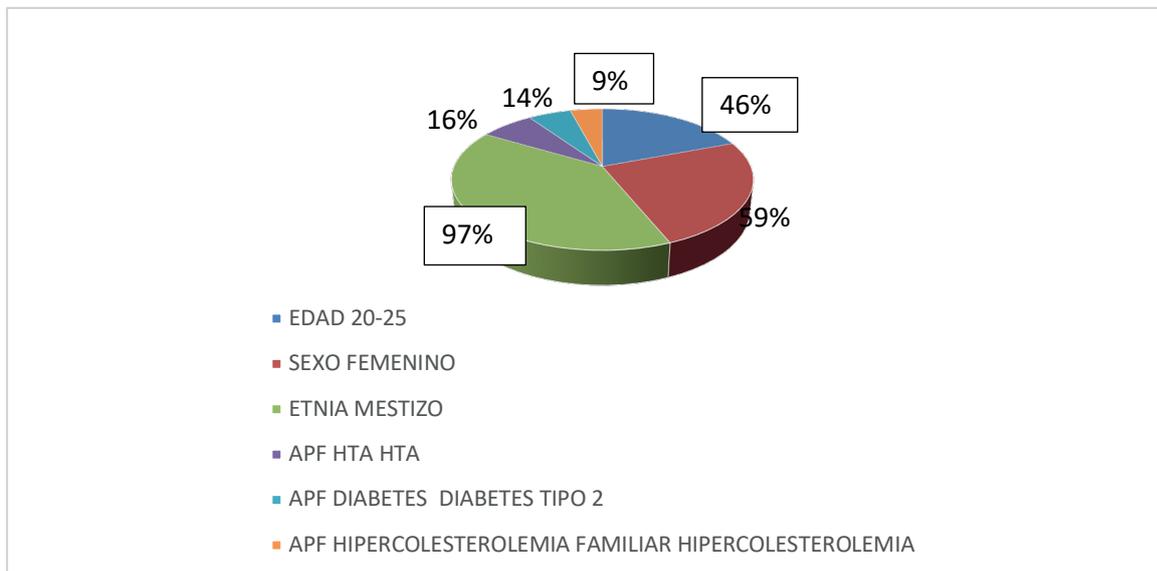
Figura 2 *Caracterización sociodemográfica de los adultos jóvenes en la iglesia EANJ**Nota: Elaboración propia de los autores.*

Los antecedentes familiares de enfermedad cardiovascular precoz estuvieron presentes en el 39% de los jóvenes incluidos en el estudio.

En relación a los factores de riesgo no modificables, se evidencia que el antecedente patológico familiar más significativo fue la Hipertensión Arterial con el 16%, mientras que la diabetes y diabetes tipo 2 se evidencia con el 14% y la Hipercolesterolemia con el 9% (Figura 3).

Figura 3

Descripción de Factores de Riesgo No Modificables en los adultos jóvenes que asisten a la Iglesia EANJ

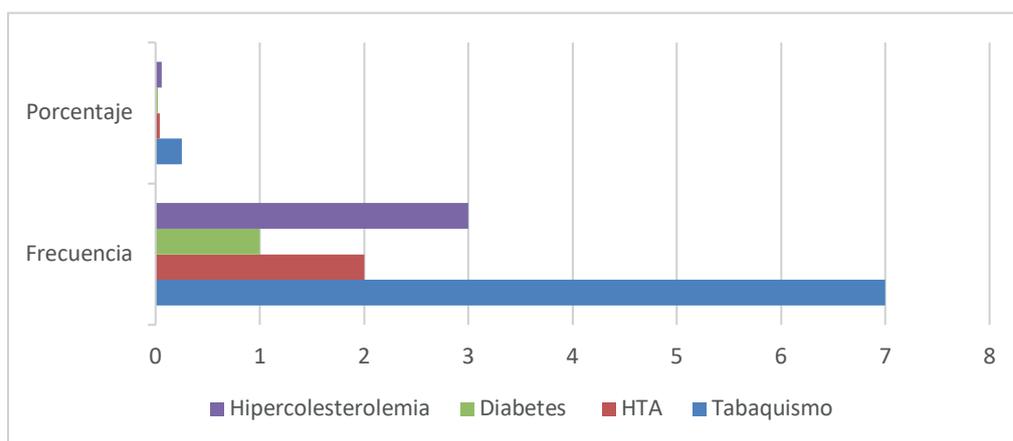


Nota: Elaboración propia de los autores

En cuanto a los factores de riesgo modificables directos, el más significativo fue el tabaquismo en el 25%, Hipercolesterolemia 6%, Hipertensión Arterial 4% y Diabetes 2% (Figura 4)

Figura 4

Caracterización de Factores de Riesgo Modificables Directos en los adultos jóvenes que asisten a la Iglesia EANJ



Nota: Elaboración propia de los autores

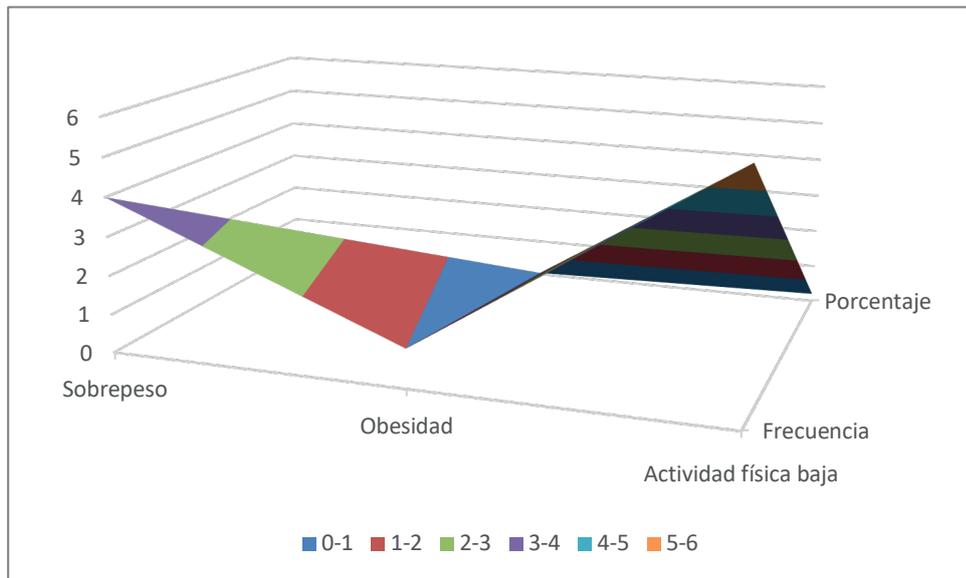
La mayoría presentaba peso normal, excepto: 12% sobrepeso y 4% obesos. El 43% de los jóvenes que asisten a la iglesia encuestados, fue clasificado dentro de riesgo cardiovascular de nivel medio y el 8% en alto, este último con más de tres factores presentes al momento de la entrevista: hábitos nocivos, nutricional, biológicos y sedentarismo.

Los factores riesgo nutricional y hábitos nocivos presentaron mayores porcentajes en el nivel medio (71% y 93%, respectivamente), mientras que en el factor biológico un importante porcentaje de adultos jóvenes presentó alto riesgo considerando los antecedentes familiares y el IMC; que, sumado con el nivel medio este factor llega al 76%.

Con respecto a la actividad física, casi el 80% se encontraba entre moderada y vigorosa y alta frecuencia de realizar algún deporte, caminatas o asistir al gimnasio. El 20% mostraba bajo índice de actividad física, no desarrollaban actividad física de forma cotidiana, predominando la práctica inadecuada, con una duración menor de 60 minutos por vez y al menos una vez a la semana o ninguna el 12% (Figura 5).

Figura 5

Factores de Riesgo Modificables Indirectos en los adultos jóvenes que asisten a la Iglesia EANJ



Nota: Elaboración propia de los autores

Los antecedentes familiares de enfermedad cardiovascular precoz estuvieron presentes en el 39% de los jóvenes incluidos en el estudio.

Respecto a los hábitos nutricionales, más de un tercio de adultos jóvenes presentó hábitos inadecuados en su alimentación, especialmente en consumo excesivo de alimentos con alto

contenido de grasa (43%), bebidas gaseosas (59%) y carbohidratos (89%), así como el exceso de sal en los alimentos.

Entre los hábitos nocivos, se observa un alto porcentaje de consumo de café (92%), seguido de bebidas alcohólicas (41%) y de tabaco (25%), aunque estos datos no reflejan necesariamente una alta frecuencia durante la semana.

En los adultos jóvenes incluidos en este estudio se pudo comprobar nivel medio (50%) y bajo (11%) de conocimiento sobre las complicaciones de las enfermedades cardiovasculares y de los factores de riesgo atribuibles.

No cabe duda, de que existe una predisposición a padecer enfermedades cardiovasculares en esta población de adultos jóvenes lo cual demanda el desarrollo de una estrategia de prevención con énfasis en las modificaciones de estilos de vida.

Discusión

En la población estudiada las mujeres presentan más factores de riesgo cardiovascular relacionados con la actividad física inadecuada, sedentarismo y sobrepeso, mientras que en los hombres predominaron los hábitos nocivos de fumar, consumo de café y drogas (Jacobs et al., 2022; Maharani et al., 2019; Mas, 2017; Pletcher & Moran, 2017).

Entre los criterios considerados “mayores” destaca el tabaquismo como el principal factor de riesgo cardiovascular, con una prevalencia menor que si comparamos con la población general (Beeri et al., 2022; Gruzdeva et al., 2018; Khambhati et al., 2018; Lau et al, 2021; Mas, 2017).

El principal factor considerado dentro del grupo de los “criterios predisponentes” y sobre el que se puede actuar es el sedentarismo, y en mayor porcentaje afecta al grupo de mujeres, (Li et al., 2020; O’Neil et al., 2018; Quesada et al., 2019; Wang et al., 2017; Young & Cho, 2019). El sedentarismo origina el doble de muertes que la obesidad, según se ha publicado

en un estudio realizado por la Universidad de Cambridge, (Skinner et al., 2020) considerándose como un factor prioritario a ser modificado.

En el grupo de “otros” criterios se consideran relevantes tres factores: primero el consumo de drogas, dado que este consumo se asocia con el síndrome coronario agudo, miocardiopatías, hipertrofia ventricular izquierda (HVI), alteraciones electrocardiográficas y muerte súbita. En segundo lugar, destacan los factores psicosociales que pueden influir como factores de riesgo cardiovascular: como la disminución del nivel económico, el aislamiento social, la depresión, la hostilidad, el estrés escolar, laboral y/o familiar (Mas, 2017; O’Neil et al., 2018; Skinner et al., 2020).

Finalmente, los factores alimentarios valorados en cuanto a comida en exceso y abuso de comida no saludable (Cercato & Fonseca, 2019).

Como aspecto novedoso de la investigación se puede resaltar la edad del grupo estudiado, donde los factores de riesgo deben ser presumiblemente menores y podemos intervenir aplicando estrategias de prevención tratando de conseguir cambios positivos, al ser edades en las que se es más susceptible a la realización de modificaciones sobre conductas nocivas (Mas, 2017; Skinner et al., 2020).

La principal limitación del estudio parte de su diseño, ya que al tratarse de un estudio transversal y además en un solo centro, no nos permite establecer inferencias al resto de la población de la parroquia Izamba. No obstante, nos sirve para poder implementar estrategias de promoción de salud y prevención de enfermedades cardiovasculares al conocer cuál es la realidad de esta población estudiada.

Otros resultados de investigaciones en adultos jóvenes han puesto de manifiesto también como principales factores de riesgo cardiovascular el tabaquismo, la dislipidemia, la obesidad y el sedentarismo. Se da particular importancia a la malnutrición por exceso de alimentación asociado a la obesidad (Mas, 2017; Skinner et al., 2020).

Igualmente, los hábitos nocivos, el tabaco, el consumo de drogas, el exceso de café y la inadecuada actividad física elevan el riesgo cardiovascular (Jacobs et al., 2022).

Con respecto a la dieta, es deseable una reducción de la ingesta de sal, el consumo de frutas y hortalizas, que unido a una actividad física regular reducen considerablemente el estado de riesgo (Skinner et al., 2020).

La OMS recomienda la urgencia de cambio en los estilos de vida de la población, dado que es mucho más económico establecer pautas y estrategias multisectoriales para controlar y reducir el impacto socioeconómico que provocarán las enfermedades no transmisibles hacia el 2025. El riesgo de muerte por cualquier causa es más elevado en los adultos cuya actividad física es insuficiente, que entre aquellos que practican al menos 150 minutos de ejercicio físico moderado por semana; reduciendo el riesgo de cardiopatía isquémica, accidente cerebrovascular, diabetes, cáncer de mama y de colon (Mas, 2017; Skinner et al., 2020).

Conclusiones

Los principales factores de riesgo cardiovascular identificados incluyen el tabaquismo, la dislipidemia, la obesidad, el sedentarismo, la malnutrición por exceso de alimentación, malos hábitos alimentarios, el consumo de alcohol y drogas. Se hace necesario una estrategia de intervención comunitaria por enfermería encaminada a la promoción de salud en toda la población de estudio y desarrollar acciones de prevención de enfermedades cardiovasculares en los adultos jóvenes de Izamba.

Agradecimientos

Al GRUPO DE INVESTIGACION ACADEMICA Y CIENTIFICA EN CIENCIAS BIOMÉDICAS CON PROYECCION SOCIAL K'USKIYKUY YACHAY SUNTUR

Bibliografía

- Beeri, M., Ravona-Springer, R., Silverman, J., Haroutunian, V. (2022). The effects of cardiovascular risk factors on cognitive compromise. *Dialogues in clinical neuroscience, Taylor & Francis, 11(2)*, 201 - 202 <https://doi.org/10.31887/DCNS.2009.11.2/msbeeri>
- Cercato, C., & Fonseca, F. (2019). Cardiovascular risk and obesity. *Diabetology & Metabolic Syndrome, dmsjournal.biomedcentral.com, 11(1)*, 95 – 99 <https://doi.org/10.1186/s13098-019-0468-0>
- Gruzdeva, O., Borodkina, D., Uchasova, E., Dyleva, Y., Barbarash, O. (2018). Localization of fat depots and cardiovascular risk. *Lipids in health and Disease, lipidworld.biomedcentral.com, 17(1)*, 1 – 218 <https://doi.org/10.1186/s12944-018-0856-8>
- Jacobs, D., Woo, J., Sinaiko, A., Daniels, S., Ikonen, J., ... Raitakari, M. (2022). Childhood cardiovascular risk factors and adult cardiovascular events. *England Journal of Medicine, Mass Medical Soc, 386(20)*, 1877 – 1888 <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2109191>
- Khambhati, J., Allard-Ratick, M., Dhindsa, D., Lee, S., Chen, J. (2018). The art of cardiovascular risk assessment. *Clinical Cardiology, Wiley Online Library, 41(5)*, 677 - 684 <https://doi.org/10.1002/clc.22930>
- Kjeldsen, S. (2018). Hypertension and cardiovascular risk: General aspecto. *Pharmacological research, Elsevier, 129(1)*, 1 – 74 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1043661817311180>

Lau, E., Paniagua, S., Liu, E., Jovani, M., Li, S. (2021). Cardiovascular risk factors are associated with future cancer. *Cardio Oncology, jacc.org*, 3(1), 48 – 58
<https://doi.org/10.1016/j.jaccao.2020.12.003>

Li, X., Wu, C., Lu, J., Chen, B., Li, Y., Yang, Y., Hu, S., Li, J. (2020). Cardiovascular risk factors in China: a nationwide population-based cohort study. *The Lancet Public Health, Elsevier*, 5(12), 672 – 681
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468266720301912>

Maharani, A., Praveen, D., Oceandy, D., Tampubolon, G., Patel A. (2019). Cardiovascular disease risk factor prevalence and estimated 10-year cardiovascular risk scores in Indonesia: The SMARTHealth Extend study. *PloS one, journals.plos.org*, 14 (4), 1 – 13
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0215219>

Más, D. (2017). Factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares y conocimiento sobre complicaciones en adultos jóvenes. *Cuidado y salud: Kawsayninchis, revistas.urp.edu.pe*, 3(1), 1 – 10
http://revistas.urp.edu.pe/index.php/Cuidado_y_salud/article/view/1422

O'Neil, A., Scovelle, A., Milner, A., & Kavanagh, A. (2018). Gender/sex as a social determinant of cardiovascular risk. *Circulation, American Heart Association*, 137(8), 854 – 864
<https://doi.org/10.1161/circulationaha.117.028595>

Pletcher, M., & Moran, A. (2017). Cardiovascular risk assessment. *Medical Clinics, medical.theclinics.com*, 101(4), 673 – 688
[https://www.medical.theclinics.com/article/S0025-7125\(17\)30025-1/abstract](https://www.medical.theclinics.com/article/S0025-7125(17)30025-1/abstract)

Quesada, J., Lopez-Pineda, A., Gil-Guillén, V., Durazno, R., Orozco, D., López, A., Carratalá, C. (2019). Machine learning to predict cardiovascular risk. *The international journal of clinical practice, Wiley Online Library*, <https://doi.org/10.1111/ijcp.13389>

Skinner, G., Farrington, D., Shepherd, J. (2020). Offender trajectories, health and hospital admissions: relationships and risk factors in the longitudinal Cambridge Study in

Delinquent Development. *Journal of the Royal Society of Medicine*, *journals.sagepub.com*, 113(3), 110 – 118 <https://doi.org/10.1177/0141076820905319>

Wang, J., Tan, G., Han, L., Bai, Y., He, M., Liu, H. (2017). Novel biomarkers for cardiovascular risk prediction. *Journal of geriatric cardiology*, *ncbi.nlm.nih.gov*, 14(2), 135 – 150 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5409355/>

Young, L., & Cho, L. (2019). Unique cardiovascular risk factors in women. *Heart*, *heart.bmj.com*, 105(21), 1656 – 1660 <https://heart.bmj.com/content/105/21/1656.abstract>

El mercado laboral ecuatoriano y los efectos del Covid-19: percepciones desde los trabajadores.

The Ecuadorian labor market and the effects of Covid-19: perceptions from workers.

Jairo Rivera¹

¹Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador. Área Académica de Gestión. Quito-Ecuador. E-mail: jairo.rivera@uasb.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.31243/id.v16.2022.1804>

Resumen

Este documento pretendió responder la siguiente pregunta ¿cuáles son los efectos del Covid-19 en el mercado laboral ecuatoriano desde la percepción de los trabajadores? Para ello, la metodología del estudio fue mixta y combinó elementos cualitativos y cuantitativos, empleando una encuesta a los trabajadores para conocer sus percepciones del mercado laboral a un año del inicio de la pandemia. Entre los principales resultados se encontró que el mercado laboral ecuatoriano ha sido fuertemente afectado por la pandemia del Covid-19, con efectos en la reducción de trabajadores y salarios, donde las políticas públicas han sido muy limitadas.

Palabras clave:

Factores de Riesgo. Enfermedades Cardiovasculares, Estilo de Vida

Abstract

This document sought to answer the following question: what are the effects of Covid-19 on the Ecuadorian labor market from the perception of workers? To do this, the study methodology was mixed and combined qualitative and quantitative elements, using a survey of workers to find out their perceptions of the labor market one year after the start of the pandemic. Among the main results, it was found that the Ecuadorian labor market has been strongly affected by the Covid-19 pandemic, with effects on the reduction of workers and wages, where public policies have been very limited.

Keywords:	<i>Risk Factors, Cardiovascular Diseases, Life Style</i>
------------------	--

Introducción

La definición del trabajo y su estudio ha evolucionado en el tiempo. A su vez, todavía no existe un consenso definitivo sobre su concepto y se presentan varias aristas de progreso. En esa línea, el trabajo puede referirse a un instrumento para alcanzar la libertad con desarrollo o una realización personal o una relación social en donde intervienen varios actores que pretenden satisfacer necesidades y mejorar su bienestar, entre otros elementos. En ese sentido, hay una amplitud de componentes al analizar el trabajo, donde “algunos escritores ven el trabajo como una maldición, otros como libertad” (Warren, 2015, p. 34).

Existen tres sociólogos clásicos que han investigado al trabajo desde esta perspectiva: Karl Marx, Emile Durkheim y Max Weber. Por un lado, Marx entiende al trabajo como una condición humana que nos distingue de otras especies, donde existe un contrato entre los trabajadores y los capitalistas para

el intercambio de la fuerza de trabajo por un salario. Por su lado, Durkeim señala la importancia de la división social del trabajo y su rol crucial en el orden social, donde el nivel de desarrollo de las sociedades determina una mayor especialización. Por último, Weber expone su ética del trabajo protestante, en donde hay la creencia de que la vida religiosa debía estar guiada por una ética de trabajo duro y autocontrol, en la cual se logre descubrir que el trabajo es más que una actividad e influye en quienes son las personas dentro de la sociedad (Warren, 2015).

En ese sentido, el trabajo mantiene nuestra esencia humana, se genera mediante interacciones dentro de la sociedad, a través de la división del trabajo, y se asocia con quienes somos como personas. Con ello, el mercado de trabajo se encuentra conformado por elementos sociales e individuales que construyen la sociedad que habitamos, En este proceso, permite el desarrollo de las personas y de la sociedad en su conjunto, donde su potencial de generar libertades se favorece o se limita de acuerdo al contexto social, económico, político y legal. Actualmente, se reconoce el derecho al trabajo como medio para el mejoramiento del bienestar de las personas, al cual se debe acceder “sin discriminación alguna, a igual salario por trabajo igual” (ONU, 1948, p. 1). Sin embargo, en la práctica todavía existen brechas laborales hacia grupos determinados como las mujeres.

En este contexto, el mercado laboral a nivel global ha tenido algunas modificaciones y se avizora transformaciones en la oferta y demanda de trabajo a raíz de la pandemia (Banco Mundial, 2020). Al mismo tiempo, América Latina se ha visto seriamente afectado por la pandemia del covid 19, donde se ha tenido que establecer medidas para evitar los contagios. Ante ello, han implementado “la paralización de actividades económicas y la restricción de la movilidad de las personas” (CEPAL/OIT, 2020, p. 5). Ello, ha ocasionado en términos generales que se hayan perdido varias plazas de trabajo, se hayan reducido las horas de trabajo y afectado los salarios.

En Ecuador la pandemia ha tenido afectaciones importantes a nivel macroeconómico. El Producto Interno Bruto (PIB) se ha reducido alrededor del

8% en el año 2020, lo cual representa “la tasa más baja registrada desde 1927” (BCE, 2020, p. 3), con pérdidas totales que bordean los 16,381.7 millones de dólares (BCE, 2021). En ese sentido, ha existido una caída en las inversiones y el consumo de la población, lo cual ha generado una menor producción y afectaciones al mercado laboral. Con ello, el empleo adecuado se redujo de 38.8% en diciembre de 2019 a 30.8% en diciembre de 2020, y el desempleo se incrementó de 3.8% en 2019 a 5% en 2020 (INEC, 2020). A su vez, la CEPAL considera que la pobreza y la desigualdad se incrementaron en 5% y 3%, respectivamente (CEPAL, 2020).

Este trabajo pretende responder la siguiente pregunta ¿cuáles son los efectos del Covid-19 en el mercado laboral ecuatoriano desde la percepción de los trabajadores? La metodología del estudio es mixta y combina elementos cualitativos y cuantitativos, empleando una encuesta a los trabajadores para conocer sus percepciones del mercado laboral a un año del inicio de la pandemia. El documento está compuesto por las siguientes cinco secciones: i) en la sección dos se presenta la metodología, la sección tres presenta los resultados, la sección cuatro muestra la discusión y, en la sección cinco se encuentran las conclusiones.

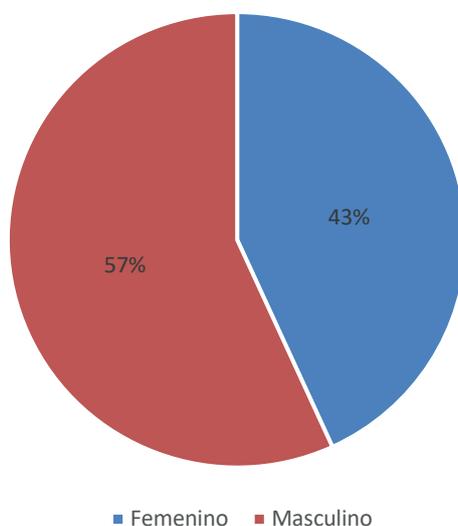
Metodología

Este estudio plantea una metodología mixta y combina el análisis cuantitativo y cualitativo. La información primaria proviene de una muestra estadísticamente significativa mediante el uso de fórmulas finitas. A su vez, se trabaja al 90% de confianza, con un error máximo de 10% (Cea D’Ancona, 2010, p. 170).

La muestra del estudio estuvo compuesta por 88 personas, los cuales participaron en base a una invitación general a través de medios virtuales, desde un sentido aleatorio a la población. La encuesta fue virtual a través de los formularios de google, se realizó durante el mes de mayo y los datos se procesaron en SPSS y Atlas.ti. A continuación, se inicia con una breve

descripción de la muestra, la cual estuvo conformada por hombres (57%) y mujeres (43%), como se presenta en la Figura 1.

Figura 1. Composición de la muestra por género



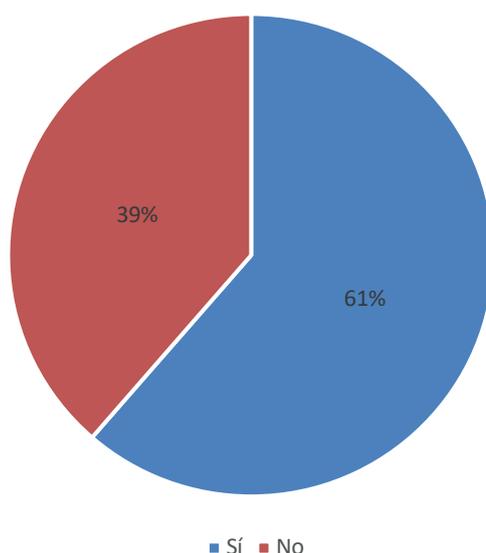
Nota: La figura tiene como fuente la encuesta elaborada por el autor

La edad promedio de los encuestados fue de 34 años. De ellos, el 29% tiene entre 21 y 30 años, el 60% con edades entre 31 y 40 años y el 11% tiene de 41 años en adelante. El nivel de educación de los encuestados es variado. Alrededor del 2% había terminado solamente el bachillerato, mientras que el 42% ha culminado la universidad, y el 56% ha finalizado un posgrado. La mayoría de los encuestados reside actualmente en la ciudad de Quito (68%), seguido de Tulcán (9%), Ibarra (5%), Latacunga (2%) y otros (16%). En este sentido, la muestra si bien es estadísticamente significativa, no necesariamente representa a toda la población del Ecuador, por lo que sus resultados deben ser tomados con cautela.

Resultados

De acuerdo a las percepciones de los encuestados se obtuvieron los siguientes resultados asociados con los efectos de la pandemia dentro del mercado laboral ecuatoriano. Alrededor del 61% considera que hubo cambios en su situación laboral o en la empresa donde trabajan, como se indica en la Figura 2.

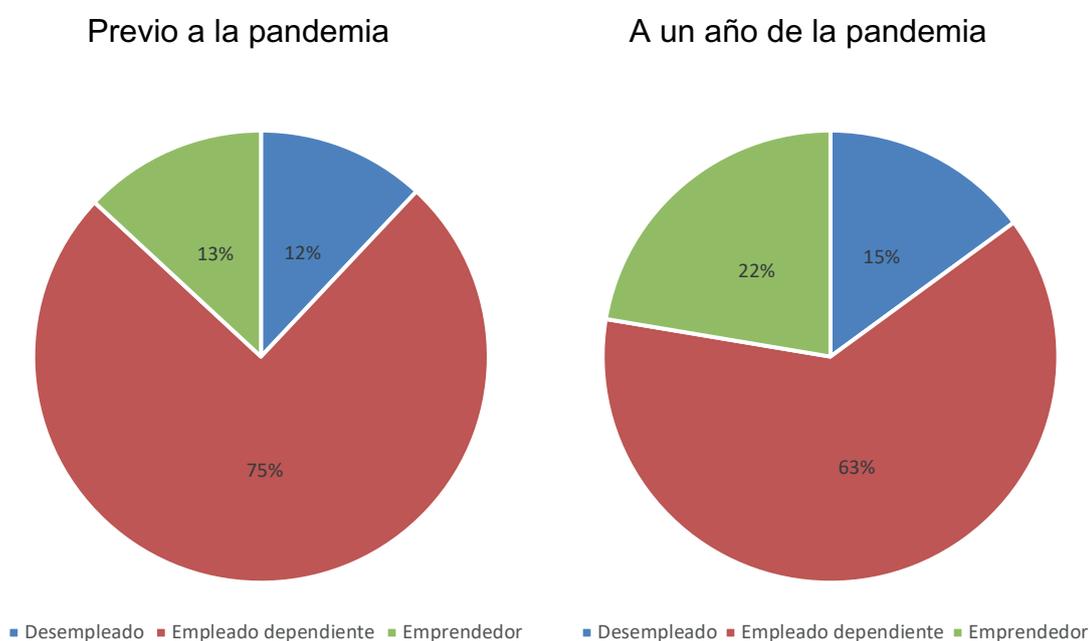
Figura 2. Cambios en su situación laboral



Nota: La figura tiene como fuente la encuesta elaborada por el autor.

Entre los cambios se encuentra efectos en la condición de actividad. Existe una reducción del empleo dependiente de 75% a 63%, lo cual corrobora lo sucedido a nivel nacional. A su vez, hay un incremento del desempleo de 12% a 15%, que denota una menor demanda de trabajo. Además, lo cual resulta muy interesante, es que se incrementa la proporción de personas que deciden emprender, pasando de 13% a 22%, como se indica en la Figura 3.

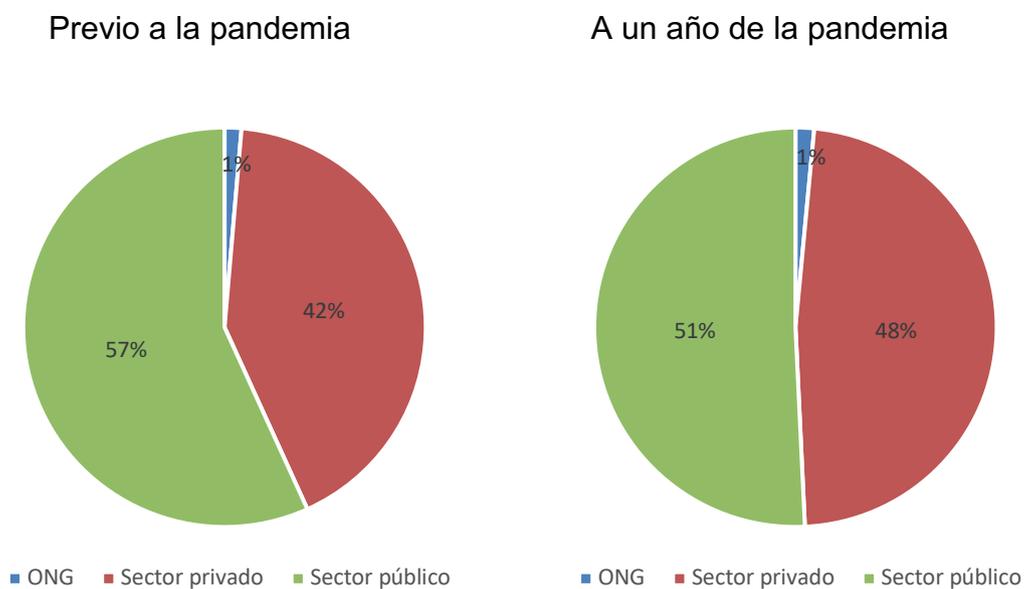
Figura 3. Composición del mercado laboral previo a la pandemia y un año después



Nota: La figura tiene como fuente la encuesta elaborada por el autor.

De forma relacionada, ha existido efectos en el sector de trabajo en el mercado laboral. En esa línea, hay una reducción de la proporción que trabajan en el sector público de 57% a 51%, lo cual se traduce en un aumento en el sector privado de 42% a 48%, como se indica en la Figura 4.

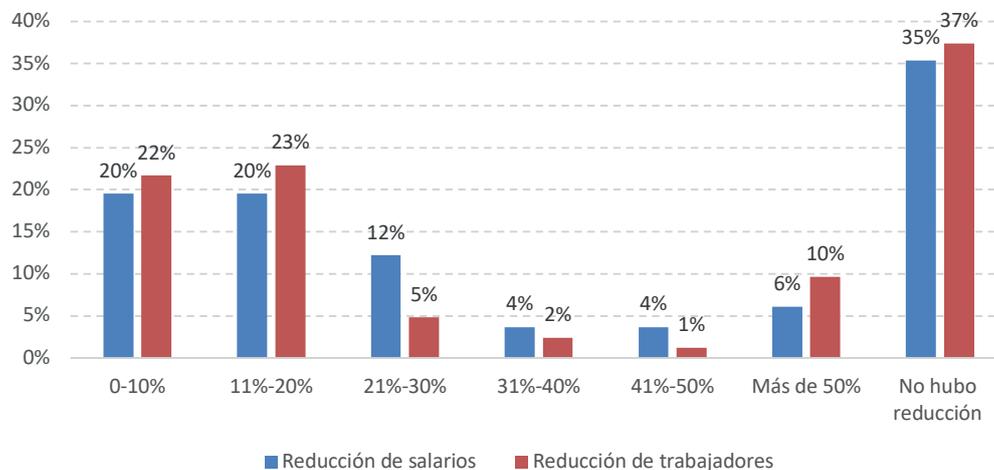
Figura 4. Sector de trabajo dependiente previo a la pandemia y un año después



Nota: La figura tiene como fuente la encuesta elaborada por el autor.

Al mismo tiempo, la pandemia ha tenido efectos en la reducción de salarios y de los trabajadores. Alrededor del 50% de trabajadores considera que la pandemia hizo que en su empresa se reduzca hasta el 30% del salario y del número de trabajadores, como se indica en la Figura 5.

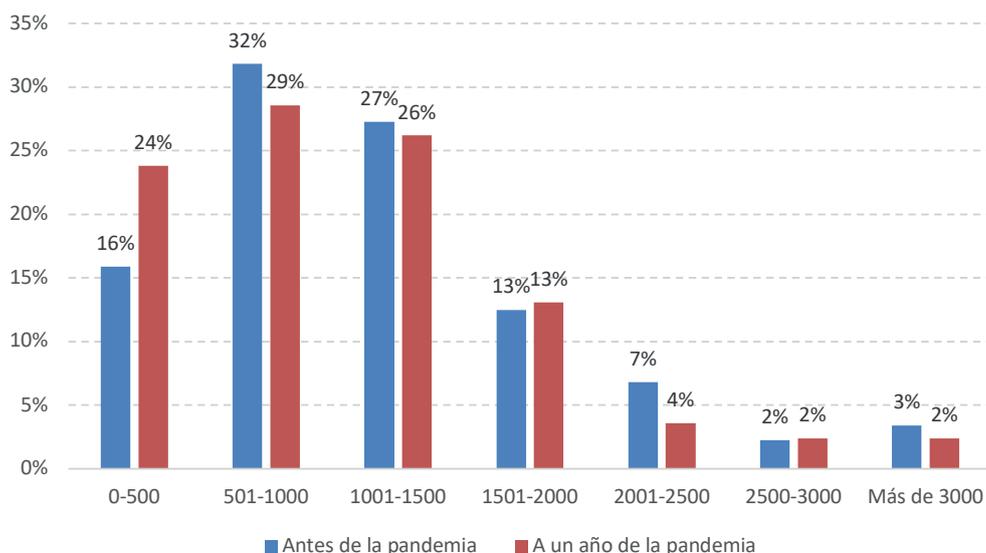
Figura 5. Reducción salarial y de trabajadores



Nota: La figura tiene como fuente la encuesta elaborada por el autor.

En la misma línea, al comparar los salarios antes de la pandemia y un año después, ha existido un deterioro en el tiempo. Las personas que ganaban hasta 500 dólares antes de la pandemia representaban el 16% y luego de la pandemia aumentan a 24%, como se presenta en la Figura 6.

Figura 6. Rango salarial antes y a un año de la pandemia



Nota: La figura tiene como fuente la encuesta elaborada por el autor.

De los distintos cambios en el mercado laboral, por un lado, se considera que hubo despidos en las empresas donde trabajaban y en época de pandemia se ha complicado la reinserción al mercado laboral. Por su parte, se menciona que aquellos que continúan con trabajo han sufrido una reducción del salario y un deterioro en las condiciones laborales ya que disminuyeron el número de trabajadores, pero todavía es necesario hacer todo el trabajo entre los que se mantienen laborando. De forma relacionada, se considera que el teletrabajo es la nueva modalidad laboral que optaron las empresas, la cual se menciona que ha incrementado las horas de conexión laboral de las personas. Por otro lado, se menciona que los cambios laborales les obligaron a tomar la decisión de emprender y optimizar sus negocios hacia los que generen mayores beneficios. A continuación, en la Tabla 1, se presentan varias opiniones.

Tabla 1. Cambios en el mercado laboral ecuatoriano ocasionados por la pandemia

“Reducción de personal en la empresa pública que trabajaba y la consecuencia de la pandemia es que hasta la presente fecha no puedo encontrar trabajo”.

“Sí, estuve desempleada por 7 meses”.

“Me despidieron y luego volví al trabajo con un salario menor”.

“En mi caso me bajaron el sueldo y lo realizo bajo honorarios profesionales, facturo. Sin derecho a vacaciones, aportes al IESS y décimos, aunque me obligan a trabajar ocho horas diarias”.

“Soy la única que trabaja en mi departamento y existe mayor recarga laboral”.

“Como ganador de concurso con nombramiento definitivo, no hemos sufrido más reducciones de salario, sin embargo el trabajo se ha vuelto más complicado por la virtualidad y el teletrabajo debido a que requiere de más horas de trabajo”.

“Mayor carga de horario por mala aplicación del teletrabajo”

“Existió la necesidad de emprender pero no es suficiente para cubrir las necesidades personales”.

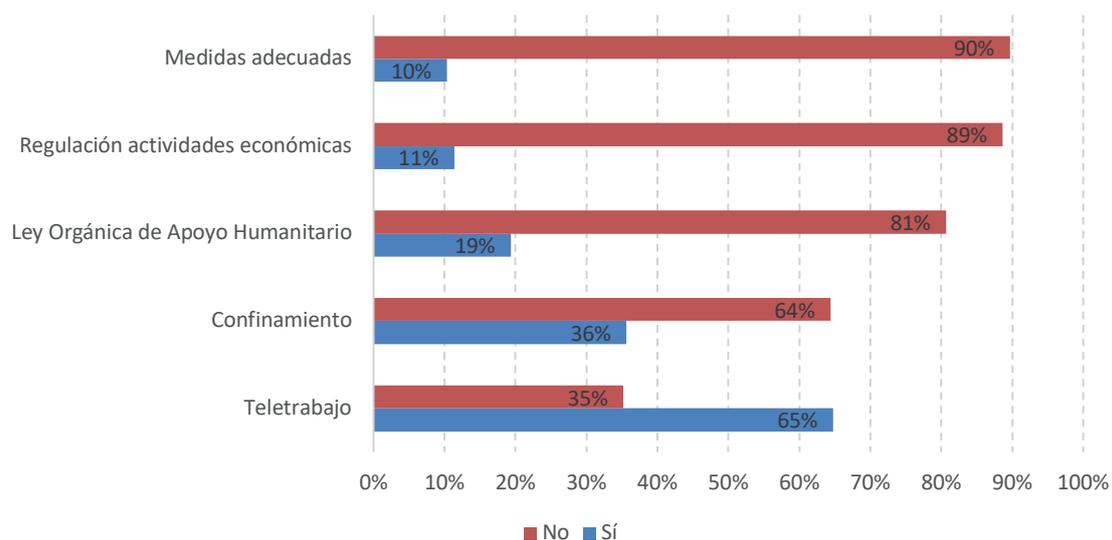
“Se tomó otros emprendimientos para tener ingresos extras”.

“Planificar nuevo emprendimiento y dejar el anterior”.

Nota: La tabla tiene como fuente la encuesta elaborada por el autor.

Tercero, la percepción general de las medidas implementadas por el Gobierno Nacional en la pandemia es negativa. Por un lado, el 90% considera que no se tomaron las medidas adecuadas. Al mismo tiempo, el 89% considera inadecuadas las regulaciones de actividades económicas. A su vez, el 81% cree que la Ley Orgánica de Apoyo Humanitario no fue la indicada para apoyar al mercado laboral. Además, el 64% considera que las medidas de confinamiento no fueron las adecuadas. Solamente, se percibe que las medidas de teletrabajo fueron adecuadas con un 65%, como se presenta en la Figura 7.

Figura 7. Percepción de las políticas



Nota: La figura tiene como fuente la encuesta elaborada por el autor.

Entre las principales razones por las que se considera que las medidas implementadas por el Gobierno fueron inadecuadas, se menciona que no hubo políticas a favor de los trabajadores. Al mismo tiempo, se indica que a través de la Ley Orgánica de Apoyo Humanitario se redujo la protección laboral hacia los trabajadores. Asimismo, se considera que el confinamiento total, sin ninguna distinción entre sectores, afectó al mercado laboral. A continuación, en la Tabla 2, se presentan varias opiniones:

Tabla 2. Medidas adoptadas por el gobierno en medio de la pandemia

“Considero que no existieron políticas claras para el fomento del mercado laboral”.

“No se ejecutó las políticas adecuadas y de haberles no tuvieron la fuerza o alcance necesario”.

“No se observó que el gobierno haya establecido políticas para el incentivo al trabajo, fue todo lo contrario.”.

“Con la ley humanitaria muchos trabajadores quedaron indefensos y fueron fácilmente desvinculados sin las liquidaciones que debían recibir”.

“Por las leyes aprobadas por la asamblea muchas empresas aprovecharon la oportunidad para botar a sus empleados o abusar en las reducciones de sueldos”.

“La ley de apoyo humanitario dio cabida para precarizar las condiciones laborales, muchas personas perdieron sus trabajos o tuvieron que aceptar condiciones laborales fuera de la ley por falta de control”.

“La ley de apoyo humanitario dio cabida para precarizar las condiciones laborales, muchas personas perdieron sus trabajos o tuvieron que aceptar condiciones laborales fuera de la ley por falta de control”.

“Debido a los confinamientos fue casi imposible reactivar el comercio”.

“La cuarentena a todos y todas, no diferenció poblaciones que dependían de trabajos presenciales. Esto ocasionó que muchos sectores laborales quiebren y no brinden estabilidad laboral para sus empleados”.

“Se cerraron los puestos de ventas de pequeños comerciantes, que vivían del día a día”.

Nota: La tabla tiene como fuente la encuesta elaborada por el autor.

Ante ello, los encuestados recomiendan cinco elementos que se pueden traducir en políticas públicas para mejorar el mercado laboral ecuatoriano en un contexto de pandemia. Por un lado, se menciona que es fundamental el fomento de una mayor inversión en el Ecuador para que se generen mayores fuentes de trabajo. Además, se considera que es fundamental el proceso de vacunación para una reactivación adecuada de la economía. Asimismo, se menciona que es esencial que se genere una política pública que fomente el emprendimiento, con facilidades tributarias. De forma similar, se considera importante la oferta de créditos y reducción de tasas de interés para las pequeñas y medianas empresas. Por último, se menciona que es necesaria una protección a los trabajadores hacia un trabajo digno, donde puede existir cierta flexibilidad, pero con respeto a la ley.

Discusión de resultados

La pandemia del Covid 19 ha sido nefasta para el mercado laboral ecuatoriano. Ha existido afectaciones en cantidad y calidad de trabajo, con limitado apoyo desde el Estado. En esa línea, los resultados encontrados en el estudio tienen relación con la literatura que ha indagado el tema a nivel nacional e internacional.

Por un lado, las afectaciones en aumento del desempleo tienen concordancia con lo presentado en por el INEC. En este estudio encontramos que el 63% considera que hubo reducción de trabajadores en la empresa donde trabajan, lo cual se asocia con el incremento del desempleo en el país (INEC, 2020; INEC,

2019). A su vez, lo encontrado se asocia con lo hallado por Rivera y Flor (2020) en relación con las afectaciones de la pandemia al sector de las organizaciones de la sociedad civil, donde se mencionaba que un 67% de personas consideraban que se redujo personal en sus instituciones.

Es importante resaltar que temporalmente hubo período aún más crítico ya que el desempleo a nivel nacional se duplicó, llegando hasta el 13% en junio de 2020 (Araque y Rivera, 2020). Desafortunadamente, la pandemia ha tenido estos efectos en el desempleo han sido mayores para grupos vulnerables como los jóvenes y las mujeres, al igual que en todo el mundo (The World Bank, 2021), y en este último grupo en el país hasta existió un incremento de las horas de trabajo en el hogar, no remuneradas (Esteves, 2020).

En la misma línea, en este estudio encontramos que alrededor del 65% de trabajadores considera que hubo reducción de salarios y esto tiene concordancia con lo hallado por Kantis y Angelelli (2020), donde se menciona que en América Latina alrededor de dos terceras partes de empresas redujeron sus ingresos. En un mercado laboral con presencia de discriminación hacia las mujeres (Rivera y Araque, 2019; Rivera, 2013), las afectaciones salariales de la pandemia han sido más duras con las mujeres (Esteves 2020). Además, en este proceso, los primeros meses fueron devastadores para las empresas nacionales (Franco, 2020), y a nivel sectorial, hubo sectores con mayores afectaciones como el turismo (Félix y García, 2020).

Al mismo tiempo, en este estudio se encuentra que el emprendimiento ha sido una de las salidas para el desempleo. Esto se relaciona con lo hallado por López y Rivera (2020) en donde se menciona que el emprendimiento es una vía para generar fuentes de ingreso y empleo en épocas de crisis. Desafortunadamente el emprendimiento en América Latina en general tiene poca innovación (Lederman y otros, 2015) y en el país todavía tiene algunas limitaciones asociadas con el entorno, el marco legal y la innovación (Araque, Rivera y Argüello, 2019). En esa línea, si bien todavía persiste el emprendimiento por necesidad, los emprendedores en el país dentro de la pandemia han

desarrollado algunas innovaciones con esfuerzos de marketing, nuevos productos y servicios y posibilidad de ventas por internet (Lasio y otros, 2020).

Por último, en este estudio se encuentra que los trabajadores no están conformes con las medidas implementadas durante el primer año de pandemia en el Ecuador. Tanto la normativa como las políticas de apoyo se perciben como inadecuadas e insuficientes para un momento de crisis. Este hallazgo tiene concordancia con lo expuesto por Castro y Fernández (2020) en donde se menciona que “las autoridades ecuatorianas no solo se han quedado cortas en el alcance de sus respuestas ante la crisis, sino que incluso han tomado medidas que profundizan la crisis mediante la contracción de la demanda agregada” (p.36). En esa línea, la lógica de las políticas públicas hacia una “transformación de la sociedad” es una deuda pendiente (Rivera, 2019).

Conclusiones

El mercado laboral es un medio para desarrollar a las personas y mejorar su bienestar dentro de la sociedad. Tiene la potencialidad de generar movilidad social y permite la realización de los trabajadores y empleadores. En esa línea, mantiene nuestra esencia humana mediante las relaciones sociales entre los distintos actores sociales. Por ello, la sociedad reconoce al trabajo como un derecho fundamental, sin discriminación en el salario y acceso, promoviendo su equidad entre los distintos grupos.

El Ecuador establece que el trabajo es un derecho y un deber social y presenta una normativa que regula las relaciones laborales en el país. Entre los principales instrumentos se encuentra la Constitución, el Código Laboral y la Ley Orgánica de Servicio Público, en las cuales se establecen las características, jornadas, remuneraciones, bonificaciones, extinciones, entre otros. Con la pandemia de la Covid 19, hubo modificaciones en las dos últimas normativas mencionadas, a través de la Ley Orgánica de Apoyo Humanitario, la cual establecía nuevas directrices ante este evento extraordinario que violentan algunos derechos adquiridos por los trabajadores.

El mercado laboral ecuatoriano presenta reducciones en el número de trabajadores y en sus salarios. De los trabajadores encuestados un 65% manifestó que ha sufrido alguna afectación en los salarios y el 63% mencionó que ha tenido afectaciones en la reducción de trabajadores. Esto ha ocasionado que se incremente la proporción de personas emprendedoras, lo cual tiene un lado positivo debido a que las personas se dedican a un negocio propio y pueden seguir generando ingresos para sus hogares; sin embargo, a su vez, tiene el lado negativo de que son emprendimientos mayoritariamente por necesidad, sin mayor estudio de mercado y análisis de oportunidades con datos, con lo cual existe una probabilidad de que no sean sostenibles en el tiempo.

En este panorama, las respuestas desde el Estado ecuatoriano ante la pandemia del Covid 19 han sido limitadas y se perciben como inadecuadas, con alrededor del 90% en desacuerdo hacia las medidas implementadas por el Gobierno nacional. En ese sentido, los cambios en la normativa a través de la Ley Orgánica de Apoyo Humanitario se perciben como un retroceso a los derechos de los trabajadores ya que se fundamentan en lo extraordinario del evento de la pandemia para justificar ciertos casos fortuitos y contratos emergentes que terminan por legitimar un proceso que reduce la protección hacia los trabajadores.

Ante este panorama complejo, es conveniente señalar que la política pública laboral en Ecuador debería partir de un diagnóstico situacional construido de forma participativa con la sociedad civil para mejorar las condiciones laborales a los trabajadores y empleadores. En este camino es fundamental el disponer de mecanismos para apoyar a las empresas, a través de crédito o reducción de impuestos, que incentiven la contratación laboral y el respeto de la normativa nacional. Al mismo tiempo, es fundamental que mejore el contexto económico y social en toda la población para que se incremente la inversión y se genere un círculo virtuoso hacia una mayor producción de bienes y servicios que crea fuentes de trabajo.

Agradecimientos

Este artículo ha sido desarrollado gracias a la investigación aprobada por el Comité de Investigaciones de la Universidad Andina Simón Bolívar en 2021.

Referencias bibliográficas

Araque, W. y Rivera, J. (2020). La inclusión financiera en el Ecuador y el desafío de la economía a nivel global durante y pospandemia (Covid19). *Revista Externa*, 19, 10-13.

Araque, W., Rivera, J. y Argüello, A. (2020). *AEI Index 2019*. Quito: Universidad Andina Simón Bolívar

Banco Central del Ecuador. (2021). *Evaluación impacto macroeconómico del covid-19 en la economía ecuatoriana: período marzo - diciembre 2020*. Quito: BCE.

Banco Central del Ecuador. (2020). *Evaluación impacto macroeconómico del covid-19 en la economía ecuatoriana: período marzo - mayo 2020*. Quito: BCE.

Banco Mundial. (2020). *Efecto viral: Covid 19 y la transformación acelerada del empleo en América Latina y el Caribe*. Washington: Banco Mundial.

Castro, L. y Fernández, J. (2020). Un país conectado a un respirador: Ecuador y la crisis provocada por el COVID-19. *Revista Ecuador Debate* 110, 25-60.

Cea D' Ancona, M. (2001). *Metodología cuantitativa: estrategias y técnicas de investigación social*. Madrid: Editorial Síntesis.

CEPAL. (2020). *El desafío social en tiempos del COVID 19*. Santiago: CEPAL.

CEPAL/OIT. (2020). *La dinámica laboral en una crisis de características inéditas: desafíos de política*. *Coyuntura Laboral en América Latina y el Caribe*. Santiago: CEPAL.

Esteves, A. (2020). El impacto del COVID-19 en el mercado de trabajo de Ecuador. *Revista Mundos Plurales*, 7 (2), 35-41.

Franco, A. (2020). Impacto económico en las empresas y el empleo por el COVID 19. Quito: EPN.

Félix, A. y García, N. (2020). Estudio de pérdidas y estrategias de reactivación para el sector turístico por crisis sanitaria COVID-19 en el destino Manta (Ecuador). *Revista Internacional de Turismo, Empresa y Territorio*, 4 (1), 79-103

Kantis, H. y Angelelli, P. (2020). Los ecosistemas de emprendimiento de América Latina y el Caribe frente al COVID 19: impactos, necesidades y recomendaciones. Washington: BID.

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2020). Resultados de la Encuesta de Empleo, Desempleo y Subempleo. Quito: INEC.

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2019). Resultados de la Encuesta de Empleo, Desempleo y Subempleo. Quito: INEC.

Lasio, V., Ordeñana, X., Caicedo, G., Samaniego, A. e Izquierdo, E. (2018). *Global Entrepreneurship Monitor Ecuador 2017*. Guayaquil: ESPOL.

Lederman, D., Messina, J., Pienknagura, S. y Rigolini, J. (2015). *El Emprendimiento en América Latina: Muchas empresas y poca innovación*. Washington: Banco Mundial.

López, G. y Rivera, J. (2020). De la teoría a la práctica: el emprendimiento en Ecuador en época de COVID 19. *Investigación y Desarrollo I+D*, 12 (1), 1-11.

ONU. (1948). *Declaración Universal de los Derechos Humanos*. New York: ONU.

Rivera, J. y Flor, E. (2020). Hacia una equidad salarial: reflexiones desde la experiencia de las Organizaciones de la Sociedad Civil. *European Public & Social Innovation Review*, 5(2), 75-86.

Rivera, J. y Araque, W. (2019). Discriminación de género en el mercado laboral ecuatoriano. *Cuestiones Económicas*, 29 (1), 117-132.

Rivera, J. (2019). Las políticas públicas y la gestión pública: un análisis desde la teoría y la práctica, entrevista a André-Noël Roth. *Estudios de la Gestión*, 5 (1), 223-29.

Rivera, J. (2013). Teoría y Práctica de la Discriminación en el Mercado Laboral Ecuatoriano (2007-2012). *Analítika - Revista de análisis estadístico*, 5 (2), 7-22.

The World Bank. (2021). *The Gendered Impacts of COVID-19 on Labor Markets in Latin America and the Caribbean*: Washington: The World Bank.

Warren, T. (2015). *Work and Social Theory*. In Stephen Edgell, Heidi Gottfried and Edward Granter, eds, pp. 34-51. *The SAGE Handbook of Sociology of Work and Employment*. London: SAGE Publications.